

PENCIRIAN, PEMODELAN DAN OPTIMASI KUAR OPTIK UNTUK
PENGESAN WAP KIMIA MENGGUNAKAN SERBUK ZnO
SEBAGAI BAHAN SALUTAN PENGESAN

HARRY RAMZA

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEHI IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2016

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

18 Disember 2016

HARRY RAMZA
P59423

PENGHARGAAN

Syukur kehadiran *Allah Subhanahu Wata'ala* kerana dengan limpah dan rahmah serta kurniaNya, saya dapat menyiapkan tesis doktor falsafah pada waktu yang telah ditetapkan. Terdapat banyak pihak yang telah banyak membantu samada dalam bentuk pengendalian projek mahupun motivasi.

Terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia yang membantu dalam bahagian projek ini melalui GUP.UKM.048 selama satu tahun, serta Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta yang memberikan kesempatan untuk menjalankan tugas belajar ini.

Diruang ini, saya merakamkan jutaan terima kasih kepada Professor. Ir. Dr. Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, selaku penyelia utama yang telah memberikan semangat untuk menempuh pengajian ini. Serta ucapan jutaan terima kasih pula kepada Professor Madya. Ir. Dr. Norhana Arsad selaku penyelia bersama yang juga banyak memberikan semangat untuk boleh menyelesaikan tesis ini.

Khas kepada Istri saya tercinta, Myrna Indah Kemala yang selalu sabar untuk memberikan semangat dan motivasi untuk belajar. Yang dihormati Ayahanda Haji Bahri Yamzik (Hj Bahari B Mohd Jaman) dan Ibunda Hj Syarifah bt Tuanku Ramli Di Sekayu, Almarhum Ayah Mertua Datuk O. K. Tua Hj. Nahrir B Rasyid dan Ibunda Mertua Hj Osmi bt Abdurachman yang telah memberikan asas untuk selalu belajar sepanjang hayat, serta keluarga besar Mohammad Jaman Sutan Raja Emas dan keluarga besar Zainuddin Tuanku Pakih Maharaja di Klang, Inyiak, Keluarga Almarhum Mohammad Syafi'i B Syekh Abd. Khir Talawi, Omak serta saudara-mara yang telah membantu saya dalam pengajian ini.

Terima kasih juga kepada Yayasan Titiwangsa Kuala Lumpur dan Yayasan Zarith Sofia, Johor atas bantuan 1 semester di Universiti Kebangsaan Malaysia, semoga ianya menjadi manfaat untuk masa hadapan ilmu pengetahuan dalam melanjutkan dakwah di bidang pendidikan.

ABSTRAK

Tesis ini merangkumi pencirian, simulasi, model persamaan matematik dan optimasi pengesanan wap kimia iaitu; Aseton, Ethanol dan Methanol menggunakan kaedah gentian optik plastik fabry-perot interferometer. Kaedah ini mengharapakan cahaya pantulan yang diterima kerana bahagian hujung kuar pengesan telah berlaku perubahan indeks bias, kemudian menyebabkan pemantulan dalaman total. Perubahan indeks bias ini berlaku kerana pengubahsuaian lapisan salutan gentian optik plastik Polymethyl Metacrylate (PMMA) menjadi lapisan salutan bahan Zink Oksid (ZnO). Di dalam kajian ini akan membincangkan apakah bahan ZnO boleh digunapakai sebagai lapisan pengesan kuar gentian optik plastik. Tujuan akhir tesis ini adalah untuk menghasilkan kuar optik menggunakan bahan ZnO pada bahagian salutan dengan berbagai – bagai saiz diameter dan panjang kuar yang direka bentuk di makmal Fotonik dan makmal gentian optik, JKEES – FKAB, UKM. Tesis ini menerangkan pemodelan kuar optik kerana perubahan indeks bias akibat adanya wap kimia yang mendedahkan salutan gentian optik plastik daripada bahan ZnO. Simulasi kuar menggunakan perisian COMSOL Multiphysics 4.2 dengan mengkaji perambatan gelombang optik pada sebuah kuar gentian optik plastik yang disesuaikan dengan keadaan pendedahan wap kimia terhadap kuar. Untuk tahapan pencirian bahan salutan ubahsuai ZnO, dilakukan pengubahan domain ketinggian permukaan bahan ZnO dari hasil mikroskop daya atom menjadi domain frekuensi atau kekerapan permukaan. Kaedah yang digunakan dalam pengubahan domain ini ialah transformasi fourier cepat (TFC) sehingga hasil yang diharapkan diperlukan beberapa teknik – teknik TFC iaitu; Teknik Ketumpatan Spektrum Kuasa, Teknik Spektrum Kuasa, Teknik Spektrum Magnitud, Teknik Spektrum Magnitud Punca Kuasa Dua dan Teknik Spektrum Logaritma. Semua teknik – teknik daripada TFC ini digunakan keatas semua bahan uji. Tahapan akhir daripada kajian ialah pemodelan dan optimasi pengesanan gentian optik plastik menggunakan kaedah tindak balas permukaan (KTP) melalui percubaan – percubaan dari beberapa buah kuar yang dibuat dengan kepelbagaian pembolehubah iaitu; X_1 , panjang kepala kuar gentian optik plastik; X_2 , diameter kuar; X_3 , pendopan fotoinisiator; X_4 , tekanan vakum kebuk dan X_5 , ketulenan cecair pengesan. Sebuah sumbangan kajian model matematik yang digunakan sebagai pelantar dalam reka bentuk kuar gentian optik plastik. Model ini didapati dalam keadaan optimum dan nilai yang ketara pada panjang gelombang 434.05 nm, 486.13 nm dan 656.03 nm. Pengiraan nilai optimum pengesanan gentian optik sesuai dengan pemboleh ubah yang telah ditetapkan (X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5) serta bahan wap kimia yang akan dikesankan iaitu Aseton, Ethanol dan Methanol. Nilai optimum untuk cecair Aseton, $X_1 = 2.502$ cm, $X_2 = 0.869998$ mm, $X_3 = 0.083195$ ml, $X_4 = 0.000131105$ mBar, $X_5 = 41.3324\%$; Ethanol, $X_1 = 5.50873$ cm, $X_2 = 0.759016$ mm, $X_3 = 0.16797$ ml, $X_4 = 99.9994$ mBar, $X_5 = 58.0557\%$; Methanol, $X_1 = 9.37199$ cm, $X_2 = 0.869364$ mm, $X_3 = 0.199859$ ml, $X_4 = 0.819169$ mBar, $X_5 = 33.914\%$.

CHARACTERIZATION, MODELLING AND OPTIMIZATION OF OPTICAL PROBE FOR CHEMICAL VAPOR DETECTION USING ZnO POWDER AS CLADDING MATERIAL

ABSTRACT

This thesis explores characterization, simulation, mathematic equation model and optimization of chemical vapor detections; Aseton, Ethanol and Methanol using plastic optical fiber Fabry – Perot Interferometer. This method causes reflected light because part of probe tip occurred the changing of refractive index, then causes the total internal reflection. The changing refractive index attributed by cladding modification of plastic optical fiber Polymethyl Methacrylate (PMMA) into Zinc Oxide (ZnO) material. This study will discuss whether the ZnO material can be used as a cladding of plastic optical fiber probes. The thesis presents the model of ZnO materials using various probe size, diameter and length at the Photonic Laboratory and Fiber Optic Laboratory, FKAB – UKM. We evaluate the optical probe model by changing of refractive index due to chemical vapor exposing to plastik optical fiber that is coated by ZnO material. COMSOL Multiphysics simulation software 4.2 is used to study the optical wave propagation simulation in a plastic optical fiber probes tailored to circumstances of the chemical vapor that exposes to ZnO material. The characterization stage of cladding modification with ZnO material is performed by changing the height level domain into the surface-frequency domain that is shown from the atomic force microscopy (AFM) results. The method of this domain is Fast Fourier Transform (FFT), it is expected the results from some techniques as like as; Power Spectral Density, Power Spectral, Magnitude Spectral, Squared Magnitude Spectral and Logarithmic Spectral. All the techniques from FFT is used on all the ZnO material sample. The final stage of the thesis are mathematic model and optimization of plastic optical fiber sensor using Response Surface Methodology and it's conducted through the experiment of several probes with five variety of variables; X_1 , the length of probe; X_2 , head of probe head; X_3 , doping liquid or photoinitiator; X_4 , vacuum pressure of chamber and X_5 , purity of chemical liquid detector. A scientific contribution of mathematical model used as a platform to design of plastic optical fiber probe. It is obtained in optimum conditions and significant value at three wavelength that consist of 434.05 nm, 486.13 nm and 656.03nm. The optimum calculation of probe in accordance with a predetermined variables (X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5) and chemical vapor deposition material to be detected are Acetone, Ethanol and Methanol. The optimum value of the liquid acetone, $X_1 = 2502$ cm, $X_2 = 0.869998$ mm, $X_3 = 0.083195$ ml, $X_4 = 0.000131105$ mBar, $X_5 = 41.3324\%$; Ethanol, $X_1 = 5.50873$ cm, $X_2 = 0.759016$ mm $X_3 = 0.16797$ ml, $X_4 = 99.9994$ mBar, $X_5 = 58.0557\%$; Methanol, $X_1 = 9.37199$ cm, $X_2 = 0.869364$ mm, $X_3 = 0.199859$ ml, $X_4 = 0.819169$ mBar, $X_5 = 33,914\%$.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	x
SENARAI ILUSTRASI	xii
SENARAI SINGKATAN	xxii
SENARAI SIMBOL	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Permasalahan Kajian	2
1.3 Motivasi Kajian	4
1.4 Objektif Kajian	5
1.5 Kaedah Penyelidikan	5
1.6 Skop dan batasan Kajian	8
1.7 Organisasi tesis	10
 BAB II KAJIAN PERPUSTAKAAN	
2.1 Latarbelakang Kajian	15
2.1.1 Teori Asas Pandu Gelombang Optik	16
2.1.2 Kaedah Asas Kerja : Pengesan Pandu Gelombang Optik	19
2.2 Pengesan Gentian Optik	21
2.2.1 Kategori Pengesan Gentian Optik (PGO)	22
2.2.2 Gentian Pengesan – Fabry-Perot Interferometer (GP-FPI)	23
2.3 Gentian Pelbagai Mod – Fabry-Perot Interferometer Ekstrinsik.	24
2.3.1 Fabry-Perot Interferometer (FPI)	24
2.3.2 Gentian Pengesan Multimod – FPIE	25
2.4 Pembuatan Pengesan	26

2.4.1	Proses Punaran	27
2.4.2	Proses Pelapisan	27
2.5	Kesimpulan	31
BAB III	REKABENTUK PENGESAN GENTIAN OPTIK FABRY–PEROT INTERFEROMETER (PGO – FPI)	
3.1	Pendahuluan	32
3.2	Jenis Pengesan Gentian Optik – Fabry Perot Interferometer	32
3.3	Teori Asas Interferometer	34
3.3.1	Fabry – Perot Interferometer	35
3.3.2	Kepekaan	39
3.4	Kepala Kuar	40
3.5	Litar Percubaan	44
3.6	Perbincangan Hasil Kajian	52
3.7	Kesimpulan	55
BAB IV	SIMULASI KUAR PENGESAN GENTIAN OPTIK (PGO)	
4.1	Pendahuluan	57
4.2	Kajian Perpustakaan	57
4.3	Reka Bentuk Model Simulasi Kuar Gentian Optik	59
4.3.1	Parameter – parameter reka bentuk simulasi	59
4.3.2	Untuk syarat – syarat kepekaan pengesanan yang harus dipenuhi	60
4.4	Simulasi Pengesan Gentian Optik	61
4.4.1	Permulaan COMSOL	61
4.4.2	Geometri	62
4.4.3	Bahan – bahan	63
4.4.4	Pemilihan Modul	64
4.4.5	Pertautan (<i>Mesh</i>)	67
4.4.6	Kajian	68
4.5	Analisis Data Simulasi Kajian Domain Frekuensi	68
4.5.1	Wap ethanol	69
4.5.2	Wap aseton	80
4.5.3	Wap methanol	90
4.6	Rumusan	98
4.7	Cadangan	103

BAB V	PENCIRIAN KUAR OPTIK BAHAN ZNO (ZINK OKSID)	
5.1	Pendahuluan	104
5.2	Kajian Perpustakaan	105
5.2.1	Sintesis Struktur Kimia Nano ZnO	106
5.2.2	Struktur Kristal ZnO	107
5.2.3	Sifat – sifat Elektronik ZnO	108
5.3	Analisis Permukaan ZnO Menggunakan Mikroskop Kuar Pengimbas (MKP)	109
5.3.1	Unsur – Unsur Pengimbas.	111
5.3.2	Kaedah Pengimbas Purata TFC (Transformasi Fourier Cepat)	115
5.4	Pengujian Bahan	119
5.4.1	Pengukuran Julur Berasas Jarak Hujung dan Sampel	122
5.4.2	Pengukuran Julur Berasas Fasa	125
5.5	Hasil Kajian dan Perbincangan Kaedah Pengimbas Purata TFC	129
5.5.1	Teknik Ketumpatan Spektrum Kuasa	129
5.5.2	Teknik Spektrum Kuasa	135
5.5.3	Teknik Spektrum Magnitud	141
5.5.4	Teknik Spektrum Magnitud Punca Kuasa Dua	147
5.5.5	Teknik Spektrum Logaritma	152
5.6	Kesimpulan	158
BAB VI	PEMODELAN DAN OPTIMASI UJIKAJI PENGESAN GENTIAN OPTIK PLASTIK MENGGUNAKAN KAEDAH TINDAKBALAS PERMUKAAN (KTP)	
6.1	Reka bentuk Percubaan Untuk KTP	160
6.1.1	Model Matematik	162
6.1.2	Jenis - jenis Fungsional	164
6.2	Prosedur Ujikaji	165
6.2.1	Bahan	165
6.2.2	Kaedah Ujikaji	166
6.3	Hasil dan Perbincangan	170
6.3.1	Hasil Ujikaji	170
6.3.2	Bentuk Model Matematik	172
6.4	Analisis Hasil Ujikaji	176
6.4.1	ANOVA untuk Model Tindakbalas Permukaan.	178
6.4.2	Plot Permukaan	180
6.4.3	Kesahihan Model	186
6.4.4	Pengoptimuman	188

6.5	Kesimpulan	189
-----	------------	-----

BAB VII KESIMPULAN DAN KAJIAN LANJUTAN

7.1	Kesimpulan kajian	191
7.2	Hasil dapatan dan Sumbangan kajian	193
7.3	Cadangan Kajian Lanjutan	194

RUJUKAN		195
----------------	--	-----

LAMPIRAN

Lampiran A	Nilai Normalisasi Medan Optik sepanjang kuar optik	201
Lampiran B	Hasil ujikaji reka bentuk Box – Behnken dan hasil ramalan pengesan	213
Lampiran C	Spektroskopi Penyerapan Cahaya Ultraviolet dan Cahaya Tampak	220
Lampiran D	Pemantulan dan Transmisi Bahan Lapisan Nipis	224
Lampiran E	Persamaan Kepekatan Wap Kimia	229
Lampiran F	Persamaan Asas Pandu Gelombang	232
Lampiran G	Sampel ZnO Mikroskop Daya Atom	254
Lampiran H	Senarai Penerbitan	274

SENARAI JADUAL

No.Jadual		Halaman
Jadual 3.1	Persamaan garis berasaskan ketebalan salutan	55
Jadual 3.2	Nilai tindak balas pengesanan pada waktu pendedahan 0 Saat sehingga 10 Saat	56
Jadual 4.1	Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi	69
Jadual 4.2	Hasil simulasi pertautan untuk sumber gelombang optik 465 nm sesuai dengan saiz elemen	70
Jadual 4.3	Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi wap Aseton	80
Jadual 4.4	Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi	90
Jadual 4.5	Hasil simulasi pertautan untuk sumber gelombang optik 465 nm sesuai dengan saiz elemen (Methanol)	91
Jadual 4.6	Perambatan Gelombang Optik 2 – dimensi dengan perubahan tingkat pertautan untuk wap Methanol	100
Jadual 5.1	Spesifikasi MKP NTEGRA AURA	120
Jadual 5.2	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada ketumpatan spektrum kuasa dengan hala X	131
Jadual 5.3	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada ketumpatan spektrum kuasa dengan hala Y	132
Jadual 5.4	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum kuasa dengan hala X	136
Jadual 5.5	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum kuasa dengan hala Y	137
Jadual 5.6	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum magnitud dengan hala X	143
Jadual 5.7	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum magnitud dengan hala Y	144
Jadual 5.8	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum modulus kuasa dua dengan hala X	148
Jadual 5.9	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum modulus kuasa dua dengan hala Y	149
Jadual 5.10	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum logaritma dengan hala X	153
Jadual 5.11	Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum logaritma dengan hala Y	154

Jadual 6.1	Reka bentuk faktorial tiga – tingkatan	165
Jadual 6.2	Tingkatan minima dan maksima daripada empat faktor – faktor pembolehubah dalam simbol yang dikodkan dan tak-dikodkan	166
Jadual 6.3	Reka bentuk Box-Behnken untuk ujikaji	169
Jadual 6.4	Reka bentuk ujikaji Box – Behnken dengan simbol pembolehubah dikodkan dan tak-dikodkan	171
Jadual 6.5	Kaedah penggunaan model untuk menghasilkan persamaan matematik	173
Jadual 6.6	Persamaan Model Matematik untuk hasil tindak balas pada setiap panjang gelombang	173
Jadual 6.7	Hasil – hasil analisa pembeza (ANOVA) untuk model lurus yang didapatkan untuk wap Aseton (=410.05nm)	176
Jadual 6.8	Hasil – hasil analisa pembeza (ANOVA) untuk model Tindakbalas Permukaan Kuadratik yang didapatkan untuk wap Aseton (=434.05nm)	177
Jadual 6.9	Hasil Analisa pembeza (ANOVA) pada setiap cecair kimia pengesan	179
Jadual 6.10	Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Aseton	187
Jadual 6.11	Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Ethanol	187
Jadual 6.12	Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Methanol	187
Jadual 6.13	Nilai optimum yang memenuhi kriteria yang dipilih	189
Jadual 7.1	Nilai hubungkait dan R kuasa dua antara Model Matematik dengan hasil ujikaji awal	192
Jadual 7.2	Nilai pemalar daripada persamaan model matematik untuk Cecairaseton	194
Jadual F.1	Senarai beberapa nilai awal modturutan-rendah dan nilai – nilai parameter terpenggal	252
Jadual F.2	Pengaruh – pengaruh jumlah mod perambatan	253

SENARAI ILUSTRASI

No.Rajah		Halaman
Rajah 1.1	Tatarajah sistem pengesan gentian optik	4
Rajah 1.2	Aliran kajian thesis dan sumbangan utama	13
Rajah 1.3	Aliran kajian untuk pencirian bahan	14
Rajah 2.1	Pantulan dan pembiasan pada antaramuka dua medium yang berbeza: Hukum Snell	17
Rajah 2.2	Perambatan sinar pada gentian optic	17
Rajah 2.3	Pandu gelombang plat (a), dan pandu gelombang lajur (b)	18
Rajah 2.4	Pengesan pandu gelombang: kaidah kerja umum	19
Rajah 2.5	Tatarajah Pengesan Optik Intrinsik	20
Rajah 2.6	Tatarajah Pengesan Optik Ekstrinsik	20
Rajah 2.7	Tatarajah asas sebuah pengesan gentian optik	21
Rajah 2.8	Tatarajah asas sebuah Fabry-Perot interferometer	24
Rajah 2.9	Proses punaran dengan menggunakan Aseton	27
Rajah 2.10	Bahan Zink Oksid Nanopowder	28
Rajah 2.11	Pengambilan serbuk Zink Oksid disesuaikan dengan perbandingan campuran	28
Rajah 2.12	Proses pengkacau bahan Zink Oksid dengan cecair methanol	29
Rajah 2.13	Proses pelapisan pada kuar gentian optik plastik	30
Rajah 3.1	Pengkelasan Pengesan Gentian Optik Ekstrinsik (Jasenek 2013)	33
Rajah 3.2	Pengkelasan Pengesan Gentian Optik Intrinsik (Jasenek 2013)	33
Rajah 3.3	Rancangan interferometer Fabry – Perot (Anonim 2012)	35
Rajah 3.4	Radiasi empat mod daripada laser diod (Anonim 2012)	36
Rajah 3.5	Keterlihatan dari pola gangguan dua sinar (Anonim 2012)	37
Rajah 3.6	Graf kebergantungan kuasa optik terhadap jarak pantulan	39
Rajah 3.7	Bentuk terperinci daripada hujung pengesan	41
Rajah 3.8	Keadaan bekas cahaya yang masuk melalui kepala pengesan; (a). Keadaan indeks bias $n_p > n_2$ dan $n_1 = n_2$, (b). Keadaan indeks bias $n_p = n_2$ dan $n_1 > n_2$.	41
Rajah 3.9	Bentuk perambatan cahaya pada kepala kuar	42

Rajah 3.10	Fungsi perpindahan dalam penghantaran cahaya untuk sebuah interferometer fabry – perot interferometer	43
Rajah 3.11	Bentuk perubahan indeks bias pada pembengkakan salutan getah silicon	44
Rajah 3.12	Litar percubaan Fabry-Perot Interferometer Ekstrinsik	45
Rajah 3.13	Interferometer FabryPerot dan pendekatan dua sinar	46
Rajah 3.14	Model perubahan indeks bias pada pembengkakan lapisan getah silicon	47
Rajah 3.15	Pekali penyerapan daripada bahan silicon	49
Rajah 3.16	Kedalaman penyerapan bahan silicon	50
Rajah 3.17	Indeks bias bahan silikon; Graf atas untuk nilai nyata dan graf bawah untuk nilai khayal	51
Rajah 3.18	Pemantulan daripada penggilapan lapisan silicon	51
Rajah 3.19	Pemantulan sinar cahaya terhadap perbezaan indeks bias bahan silicon	52
Rajah 3.20	Hasil penerima REFPI dan FPIE intensiti normalisasi penerima dengan perbezaan indeks bias silicon	53
Rajah 3.21	Fungsi kepekatan wap kimia; (a). Kepekatan wap ammonia berdasarkan pada waktu pendedahan wap ammonia (b). Kepekatan wap ammonia berasaskan ketebalan salutan yang berbeza	54
Rajah 3.22	Kepekatan wap ammonia berasaskan pada masa pendedahan yang panjang	55
Rajah 4.1	Reka bentuk kuar optik dengan salutan yang terubahsuai, (a). Kuar optik dalam tampak keseluruhan, (b). Kuar optik bahagian bawah, (c). Kuar optik bahagian atas	61
Rajah 4.2	Tampilan pemilihan saiz ruang	61
Rajah 4.3	Tampilan fizik tambahan	62
Rajah 4.4	Tampilan pengaturan geometri bahagian kiri dan keputusan geometribahagian kanan	62
Rajah 4.5	Pemilihan model bahan bahagian kiri harus disesuaikan dengan domain yang dibuat pada bahagian kanan	63
Rajah 4.6	Pemilihan jumlah geometri bahan dan sifat – sifatnya	64
Rajah 4.7	Modul Gelombang Elektromagnet untuk pemilihan domain pada persamaan gelombang elektrik (bahagian kiri) dan hasil keputusan domain (bahagian kanan)	65
Rajah 4.8	Pemilihan pengalir elektrik sempurna (bahagian kiri) dan hasil keputusan pengalir elektrik dengan hamburan syarat sempadan	65

Rajah 4.9	Nilai awal untuk medan elektrik (bahagian kiri) dan hasil keputusan pemilihan domain dan nilai medan elektrik	66
Rajah 4.10	Hamburan keadaan sempadan dengan pemilihan domain sempadan (bahagian kiri) dan hasil keputusan hamburan disertai dengan tanda hijau sebagai masukan gelombang (bahagian kanan)	66
Rajah 4.11	Bentuk mata jaring dengan pemilihan yang disesuaikan dengan saiz elemen (bahagian kiri) dan hasil keputusan mata jaring sesuai dengan jumlah elemen “Extremely Coarse”	67
Rajah 4.12	Kajian simulasi dengan beberapa pilihan kajian – kajian termaju	68
Rajah 4.13	Hasil simulasi pertautan untuk Gentian Optik Plastik sesuai parameter – parameter Ethanol yang telah ditentukan dengan saiz elemen Extra Coarse	71
Rajah 4.14	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_x untuk wap ethanol	72
Rajah 4.15	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_y untuk wap Ethanol	73
Rajah 4.16	Nilai pengiraan medan elektrik E_r dan E_ϕ untuk wap ethanol	75
Rajah 4.17	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_x untuk wap Ethanol	76
Rajah 4.18	Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Ethanol	77
Rajah 4.19	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik	78
Rajah 4.20	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik	79
Rajah 4.21	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik	79
Rajah 4.22	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik	80
Rajah 4.23	Hasil simulasi Jaring untuk Gentian Optik Plastik sesuai parameter – parameter Aseton yang telah ditentukan dengan saiz elemen Normal	81
Rajah 4.24	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_x untuk wap Aseton	82
Rajah 4.25	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik pada komponen E_y untuk wap Aseton	83

Rajah 4.26	Nilai pengiraan medan elektrik normalisasi E_r dan E_ϕ untuk wap Aseton	85
Rajah 4.27	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_z untuk wap Aseton	86
Rajah 4.28	Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Aseton	87
Rajah 4.29	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik	88
Rajah 4.30	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik	88
Rajah 4.31	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik	89
Rajah 4.32	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik	89
Rajah 4.33	Hasil simulasi Jaring untuk Gentian Optik Plastik sesuai parameter – parameter Aseton yang telah ditentukan dengan saiz elemen Normal	91
Rajah 4.34	Hasil simulasi untuk perambatan pada komponen E_x untuk wap Methanol	92
Rajah 4.35	Hasil simulasi untuk perambatan pada komponen E_y untuk wap Methanol	93
Rajah 4.36	Nilai pengiraan medan elektrik normalisasi E_r dan E_ϕ untuk wap Aseton	94
Rajah 4.37	Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_z untuk wap Methanol	95
Rajah 4.38	Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Methanol	96
Rajah 4.39	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik untuk wap Methanol	96
Rajah 4.40	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik untuk wap Methanol	97
Rajah 4.41	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik	97

Rajah 4.42	Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik	98
Rajah 5.1	Struktur Kristal ZnO	108
Rajah 5.2	Gambarajah sistem swap balik pada sebuah kuar mikroskop (Mironov 2004)	109
Rajah 5.3	Plat piezoseramik dalam sebuah medan elektrik luar	112
Rajah 5.4	Tiub Piezoelement (Mironov 2004)	112
Rajah 5.5	Unsur imbasan sebagai tripod dibina menggunakan unsur – piezo tubular (Mironov 2004)	113
Rajah 5.6	Imbasan – piezo tubular (Mironov 2004)	113
Rajah 5.7	Struktur Sell Bimorph (Mironov 2004)	114
Rajah 5.8	Imbasan tiga – paksi dibuat daripada tiga unsur bimorph (Mironov 2004)	115
Rajah 5.9	Skim mewakili daripada mekanisma kerja pengimbas – piezo bimorph (Mironov 2004)	115
Rajah 5.10	NTEGRA AURA mikroskop kuar pengimbas tampak depan (kiri), dan Tempat meletakkan bahan sampel ZnO (kanan)	119
Rajah 5.11	Sampel ZnO diatas substrat kaca	120
Rajah 5.12	Bentuk sampel ZnO dengan luas $10 \times 10 \times 3.336 \text{ um}$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	121
Rajah 5.13	Skema Kuar MDA	122
Rajah 5.14	Skematik pesongan julur ΔZ (berkadar dengan daya yang dikenakan F) berbanding jarak z kuar – sampel. Warna biru : penghampir warna merah : penarik balik (Mironov 2004)	123
Rajah 5.15	Rajah skematik daya (a) dan kecerunan daya sebagai fungsi jarak z antara hujung kuar dan permukaan bahan	123
Rajah 5.16	Model kuar sebagai sebuah julur elastik dengan sebuah jisim pada bahagian hujung (Mironov 2004)	125
Rajah 5.17	Frekuensi Amplitud dan tindak-balas fasa dalam sebuah sistem dengan lesapan warna biru menunjukkan ciri – ciri sistem non-disipatif (Mironov 2004)	128
Rajah 5.18	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasa dengan luas $10 \text{ um} \times 10 \text{ um} \times (-59.00 > x_0 > 84.70)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	128

Rajah 5.19	Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.16 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 2), Rajah 5.21 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 7), Rajah 5.22 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 8), Rajah 5.25 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 11)	133
Rajah 5.20	Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.17 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 3), Rajah 5.19 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 5), Rajah 5.23 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 9)	134
Rajah 5.21	Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 1), Rajah 5.18 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 4), Rajah 5.20 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 6)	134
Rajah 5.22	Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.24 (Ketumpatan Spektrum Kuasa - 10)	135
Rajah 5.23	Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.17 (Spektrum Kuasa - 3), rajah 5.23 (Spektrum Kuasa - 9) dan rajah 5.25 (Spektrum Kuasa - 11)	138
Rajah 5.24	Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-7 (Spektrum Kuasa - 8) dan rajah G-9 (Spektrum Kuasa - 10)	139
Rajah 5.25	Hasil simulasi spektrum kuasa hala - X pada domain frekuensi sesuai rajah G-1 (Spektrum Kuasa - 2) dan rajah G-6 (Spektrum Kuasa - 7)	140
Rajah 5.26	Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-3 (Spektrum Kuasa - 4) dan rajah G-4 (Spektrum Kuasa - 5)	140
Rajah 5.27	Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (Spektrum Kuasa - 1) dan rajah G-5 (Spektrum Kuasa - 6)	141
Rajah 5.28	Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (ModX - 1) dan rajah G-5 (ModX - 6)	145
Rajah 5.29	Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-1 (ModX - 2), rajah G-2 (ModX - 3), rajah G-7 (ModX - 8), rajah G-10 (ModX - 11) dan rajah G-8 (ModX - 9)	145
Rajah 5.30	Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-3 (ModX - 4) dan rajah G-4 (ModX - 5)	146
Rajah 5.31	Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-6 (ModX - 7) dan rajah G-9 (ModX - 10)	147
Rajah 5.32	Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (ModkdX - 1), rajah G-3 (ModkdX - 4) dan rajah G-4 (ModkdX - 5) dan rajah G-5 (ModkdX - 6)	150

Rajah 5.33	Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-1 (ModkdX – 2), rajah G-6 (ModkdX - 7) dan rajah G-7 (ModkdX - 8) dan rajah G-9 (ModkdX - 10)	151
Rajah 5.34	Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-2 (ModkdX – 3), rajah G-8 (ModkdX - 9) dan rajah G-10 (ModkdX - 11)	151
Rajah 5.35	Hasil simulasi spektrum logaritma hala – x pada domain frekuensi sesuai rajah G-1 (SlogX – 2), rajah G-7 (SlogX – 8), rajah G-8 (SlogX – 9) dan rajah G-10 (SlogX – 11)	155
Rajah 5.36	Hasil simulasi spektrum logaritma hala – x pada domain frekuensi sesuai rajah G-2 (SlogX – 3) dan rajah G-3 (SlogX – 4)	155
Rajah 5.37	Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-5 (SlogX – 6)	156
Rajah 5.38	Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (SlogX – 1) dan rajah G-4 (SlogX - 5)	157
Rajah 5.39	Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-9 (SlogX – 10)	157
Rajah 5.40	Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G-6 (SlogX – 7)	158
Rajah 6.1	Contoh reka bentuk tiga faktor Box – Behnken (M. Manohar.et.al)	161
Rajah 6.2	Pelbagai graf jenis fungsi – fungsi KTP	164
Rajah 6.3	Skema ujikaji pengesan wap kimia, (a) Tatarajah ujikaji pengesan wap kimia, (b). Gambar ujikaji pengesanan wap kimia	168
Rajah 6.4	Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 397.14 nm dan wap Aseton	180
Rajah 6.5	Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 410.05 nm dan wap Aseton	181
Rajah 6.6	Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 434.05 nm dan wap Aseton	181
Rajah 6.7	Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 486.13 nm dan wap Aseton	182
Rajah 6.8	Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 656.03 nm dan wap Aseton	182

Rajah 6.9	Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 397.14 nm dan wap Aseton	183
Rajah 6.10	Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 410.05 nm dan wap Aseton	184
Rajah 6.11	Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 434.05 nm dan wap Aseton	184
Rajah 6.12	Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 486.13 nm dan wap Aseton	185
Rajah 6.13	Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 656.03 nm dan wap Aseton	185
Rajah 6.14	Bentuk hasil optimasi untuk pengesanan wap Aseton dari perisian DESIGN-EXPERT	188
Rajah C – 1	Bentuk fizikal pengganding gentian optik	220
Rajah C – 2	Bentuk fizikal kepala pengesan	221
Rajah D – 1	Pemantulan dan transmisi gelombang optik pada kuar optik	224
Rajah E – 1	Bentuk pendedahan kepala kuar terhadap wap kimia	229
Rajah F – 1	Tatarajah pandu gelombang dielektrik umum digunakan untuk perambatan tenaga pada arah – z	232
Rajah F – 2	Geometri untuk pertukaran dari paksi kartesian kepada paksi silinder (Sumber : Cherin, 1983)	237
Rajah F – 3	Komponen vektor perambatan cahaya optik (Sumber: Cherin, 1983)	241
Rajah F – 4	Graf fungsi Bessel digunakan untuk mengirakan mod – mod keadaan terpenggal (Sumber : Cherin, 1983)	251
Rajah F – 5	Graf bilangan mod rambatan terhadap bilangan V gentian (Sumber: Cherin, 1983)	253
Rajah G – 1	Bentuk sampel ZnO dengan luas 5 μm x 5 μm x 443.1 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	254
Rajah G – 2	Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 μm x 2 μm x 82.1 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	255

Rajah G – 3	Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 16.31 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	256
Rajah G – 4	Bentuk sampel ZnO dengan luas 50 μm x 50 μm x 16.35 μm ; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	257
Rajah G – 5	Bentuk sampel ZnO dengan luas 10 μm x 10 μm x 1.4 μm ; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	258
Rajah G – 6	Bentuk sampel ZnO dengan luas 10 μm x 10 μm x 1.4 μm ; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	259
Rajah G – 7	Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 μm x 2 μm x 822 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	260
Rajah G – 8	Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 μm x 2 μm x 81.0 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	261
Rajah G – 9	Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 451 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	262
Rajah G – 10	Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 49.49 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	263
Rajah G – 11	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 5 μm x 5 μm x (-65.8 ⁰ > x ⁰ > 84.3 ⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	264
Rajah G – 12	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasa dengan luas 2 μm x 2 μm x (-61.20 > x ⁰ > 77.60); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	265
Rajah G – 13	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 μm x 1 μm x (-12.09 ⁰ > x ⁰ > 41.70 ⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	266
Rajah G – 14	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 50 μm x 50 μm x (-89.8 ⁰ > x ⁰ > 74.9 ⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	267
Rajah G – 15	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 10 μm x 10 μm x (-60.6 ⁰ > x ⁰ > 86.5 ⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	268
Rajah G – 16	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 5 μm x 5 μm x (-60.0 ⁰ > x ⁰ > 83.8 ⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	269

Rajah G – 17	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 2 um x 2 um x ($-40.7^0 > x^0 > 130.9^0$); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	270
Rajah G – 18	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 2 um x 2 um x ($-31.0^0 > x^0 > 86.5^0$); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	271
Rajah G – 19	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 um x 1 um x ($-41.7^0 > x^0 > 129.8^0$); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	272
Rajah G – 20	Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 um x 1 um x ($-54.2^0 > x^0 > 66.6^0$);(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D	273

SENARAI SINGKATAN

2-D	Dua Dimensi
3-D	Tiga Dimensi
Al	Aluminium
FPI	Fabry – Perot Interferometer
FPIE	Fabry – Perot Interferometer Ekstrinsik
FPII	Fabry – Perot Interferometer Intrinsik
Ga	Galium
GaN	Galium Nitrid
GMP	Gentian Mod Pelbagai
GMT	Gentian Mod Tunggal
GOP	Gentian Optik Polimer
GP-FPI	Gentian Pengesan – Fabry Perot Interferometer
In	Indium
KSK	Ketumpatan Kuasa Spektrum
LD	<i>Laser Diode</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MDA	Mikroskop Daya Atom
MKP	Mikroskop Kuar Pengimbas
PGO – FPI	Pengesan Gentian Optik – Fabry Perot Interferometer
PGO	Pengesan Gentian Optik
SK	Spektrum Kuasa
TFC	Transformasi Fourier Cepat
TFD	Transformasi Fourier Diskrit
ZnSe	Zink Selenium

SENARAI SIMBOL

∇T_2	Operator laplacian melintang
E_r	Medan elektrik paksi – r pada koordinat silinder
E_x	Medan elektrik komponen x
E_y	Medan elektrik komponen y
E_z	Medan elektrik komponen z
E_z	Medan elektrik paksi – z pada koordinat silinder
E_ϕ	Medan elektrik paksi - ϕ pada koordinat silinder
H_r	Medan magnetik paksi – r pada koordinat silinder
H_v	Fungsi Hankel
H_x	Medan magnetik paksi – x
H_y	Medan magnetik paksi – y
H_z	Medan magnetik paksi – z
H_z	Medan magnetik paksi – z pada koordinat silinder
H_ϕ	Medan magnetik paksi - ϕ pada koordinat silinder
$I_{\max}$	Intensiti spektrum maksima
V_b	Penglihatan frinji
k_0	Nombor gelombang
l_c	Koherensi cahaya
n_1	Indeks bias teras
n_2	Indeks bias salutan
n_{eff}	Indeks bias efektif
θ_c	Sudut kritikal daripada berlakunya pemantulan dua medium
ω_c	Frekuensi penggal
$\Delta\phi$	Anjakan fasa relatif antara dua isyarat cahaya
A_1	Amplitud cahaya monokromatik – 1
F	Kehalusan gelombang cahaya
E	Medan elektrik gelombang optik
I	Intensiti gelombang
R	kuasa pantulan antaramuka pada indeks bias salutan dan teras

f	Frekuensi
t	masa kitar
$\varepsilon(x, y)$	Permitivity bahan pada paksi x dan y
η	kepekaan pengesan
λ	Panjang gelombang
ϕ	Fasa gelombang optik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Teknologi optik sering digunakan dalam teknologi pengukuran dengan jumlah yang sangat besar dan digunakan sebagai pengesan. Asas kaedah konvensional yang digunakan berupa interferometri ruang-bebas dan spektroskopi, sebagai contoh yang sederhana (untuk kemampuan optik) adalah pemantauan ruang bebasnya akan menjadi efektif apabila gelombang optik saling terlihat berhadapan serta cukup untuk mengembalikan keadaan awal dan mengatasi gangguan luar. Pengesan pandu gelombang memberikan keuntungan tambahan, serta membolehkan pemanduan alur cahaya pada sebuah batas dan medium yang tidak dapat dilalui, sehingga memungkinkan lebih anjal dan tanpa mengusik pengukuran.

Teknologi gentian optik pada mulanya dikembangkan untuk penggunaan teknologi telekomunikasi. Walau bagaimanapun juga, pengembangan lanjutan untuk memastikan kualiti yang lebih tinggi dan harga komponen optoelektronik yang sangat kompetitif dan banyaknya pemakaian gentian optik akan memberikan sumbangan pada pengembangan pandu gelombang sebagai kuar. Beberapa faktor membuat pandu gelombang optik digunakan sebagai kuar adalah seperti berikut;

1. Penggunaan tanpa sumber elektrik, dimana cara ini menawarkan kekebalan intrinsik pada frekuensi radio dan untuk semua jenis gangguan elektromagnetik.
2. Saiz dan berat yang kecil dan sangat fleksibel.

3. Kemampuan mengawal pergerakan secara kimia dan ionisasi alam sekitarnya.
4. Mudah dihubungkan dengan sistem komunikasi data optik dan mengawal pengiriman data.

Kuar pandu gelombang yang dihasilkan bagi menyelesaikan masalah di dalam industri, bidang otomotif, penerbangan, geofizik, alam bina dan bioperubatan. Bahagianpendahuluan ini bertujuan untuk memberikan penjelasan dalam bidang kuar gentian optik ini. Kuar ditampilkan dalam bentuk relatif sederhana dan cara yang mudah untuk memberikan pemahaman pada bidang – bidang tertentu dengan penjelasan teori yang sangat ringkas serta memberikan contoh – contoh yang berkaitan dengan pertanyaan ‘*Apakah teknologi pandu gelombang ini boleh diaplikasi dalam bidang teknologi kuar?*’. Beberapa perbincangan juga akan diberikan tentang tajuk kuar ini secara mendalam.

1.2 PERMASALAHAN KAJIAN

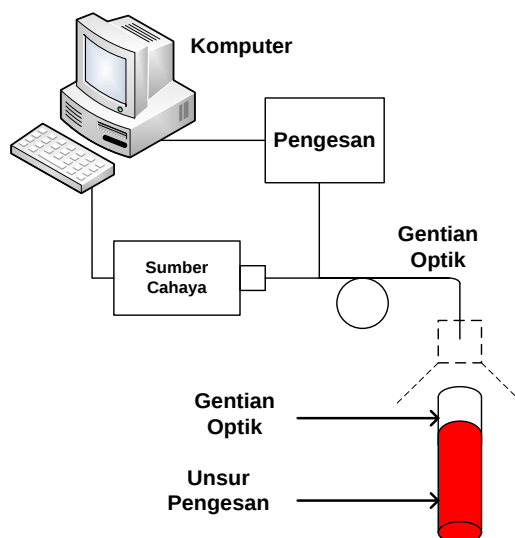
Pengesan gentian optik mampu memberikan impak yang besar dalam alat pengukuran. Kuar optik atau ataupun lebih dikenali sebagai *Optical Probe* ialah perangkat analisis yang dilengkapi oleh gentian optik dengan pelbagaikaedah pengesanannya. Gentian optik adalah wayar kecil dan anjal yang diperbuat daripada bahan gelas atau plastik yang dapat menghantarkan isyarat cahaya, dengan kerugian minima pada jarak yang jauh.

Isyarat cahaya dijana oleh lapisan pengesan dimana lapisan ini dibentuk dari bahan kimia yang boleh dilekatkan pada gentian optik. Lapisan pengesan dapat dikatakan sebagai bahan pengganti daripada lapisan sebelumnya. Lapisan pengganti iaitu lapisan yang diubahsuai pada bahagian hujung gentian optik. Di lapisan ini juga boleh berlaku perubahan indeks bias kerana keadaan persekitaran, seperti wap, tekanan, terma, terikan dan lainnya. Namun reka bentuk pengesan gentian optik yang tidak tepat akan menyebabkan berlakunya kehilangan isyarat kerana banyak isyarat cahaya yang dijana dari sumber optik tidak dipantulkan semula ke pengesan cahaya.

Kuar optik ialah penggabungan perangkat analisa gentian optik dan analisa kimia dengan memperkenalkan perubahan – perubahan molekul. Gentian optik ialah wayar bersaiz kecil dan anjal serta dihasilkan daripada bahan kaca atau plastik yang boleh menghantarkan isyarat cahaya, dengan kerugian yang minima dan jarak yang panjang. Isyarat cahaya yang dijana oleh sebuah lapisan pengesanan, yang disusun oleh molekul – molekul dan pewarna secara biologi atau kimia kemudian dilekatkan pada bahagian hujung akhir gentian tersebut.

Cahaya dihantar melalui gentian optik menuju lapisan pengesanan dimana perbezaan fenomena optik seperti penyerapan atau pendarkilau digunakan untuk mengira interaksi diantara analit dan lapisan pengesanan. Kuar optik dapat digunakan untuk penggunaan analisa jarak jauh termasuk penggunaan klinikal, alam sekitar, dan proses pemantauan perindustrian. Pada masa dekad yang lalu, disebabkan peningkatan yang meluas penggunaan gentian optik untuk teknologi komunikasi, teknologi baru gentian optik telah dikembangkan serta menghasilkan kualiti yang tinggi dan gentian optik yang murah sehingga dapat digunakan pada kuar optik. Pengembangan terkini dalam teknologi kuar optik termasuklah kuar optik skala nano, membolehkan pengiraan di dalam sel – sel tunggal yang hidup, dan pengembangan pelbagai – bahan analit, dan kuar optik tanpa bahan reaksi. Walaupun pada masa kinitiada kuar optik bahan kimia dihasilkan secara komersil, dengan penghasilan kuar optik ini diharapkan dapat mengembangkan lagi teknologi kuar secara komersil dan kepelbagaian penggunaan analitik.

Rajah 1.1 menjelaskan tata rajah pengesanan wap kimia menggunakan kaedah interferometer yang akan digunakan dalam kajian ini. Unsur pengesanan iaitu bahan lapisan ZnO (Zink Oksid) dilekatkan pada bahagian ujung gentian optik sehingga cahaya yang dihantarkan oleh sumber cahaya putih akan dipantulkan semula. Sistem rakaman cahaya yang diterima oleh pengesanan akan dihantarkan ke komputer untuk mendapatkan intensiti yang diterima kerana perubahan indek bias unsur pengesanan tersebut.



Rajah 1.1 Tatarajah sistem pengesan gentian optik

1.3 MOTIVASI KAJIAN

Penyelidikan ini dimotivasi oleh keperluan praktikal untuk mendapatkan pengesanan wap kimia menggunakan gentian optik plastik, iaitu menggunakan kaedah Ekstrinsik Fabry – Perot Interferometer (EFPI), serta untuk rekabentuk kuar optik sebagai pengesan wap kimia yang efektif sesuai pengiraan. Didalam reka bentuk, penggunaan dan pelekatan bahan kimia serbuk nano ZnO kepada gentian optik plastik sangat diperlukan untuk menghasilkan pengesanan yang cekap, kemudian melihat pencirian bahan tersebut pada masa sebelum dilekatkan dan setelah dilekatkan menggunakan pemendapan lapisan atomik.

Analisis yang tidak mencukupi dalam rujukan kerana permasalahan pemodelan dan optimasi di dalam matematik, perubahan indeks bias kerana adanya wap kimia seperti; Aseton, Ethanol, dan Methanol serta bahan lainnya menjadi sebuah pertimbangan di dalam penyelidikan ini secara simulasi, ujikaji-tunggal dan pelbagai-ujikaji.

Tafsiran yang salah daripada tidak adanya keberkesanan beberapa parameter seperti; panjang kuar, diameter kuar, pendapan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum, dan ketulenan cecair pengesan wap kimia. Parameter – parameter ini boleh disebut sebagai parameter yang memberikan tingkat keberkesanan yang cukup tinggi.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Secara amnya, kajian yang dilakukan ini adalah untuk menambahbaik sensitiviti dengan reka bentuk pengesan optik yang merangkumi reka bentuk kuar optik menggunakan salutan ZnO (Zink Oksid) dan penggunaan kaedah Gentian Optik Fabry-Perot Interferometer. Selain itu, antara matlamat lain pada kajian ini adalah seperti berikut:

- a) Untuk menentukan nilai pencirian bahan ZnO menggunakan kaedah pengimbas purata transformasi fourier cepat (TFC). Kaedah ini menggantikan domain ketinggian pengukuran oleh Mikroskop Kuar Pengimbas (MKP) menjadi domain frekuensi.
- b) Untuk menentukan persamaan model matematik yang boleh digunapakai pada pengesanan wapAseton, Ethanol dan Methanol.
- c) Untuk menentukan nilai optimum dari rekabentuk kuar optik.

1.5 KAEDAH PENYELIDIKAN

Bahagian ini menjelaskan rekabentuk penyelidikan, simulasi pengesanan optik, pencirian bahan menggunakan mikroskop kuasa atom, pemodelan dan optimasi ujikaji secara statistik dalam membina sebuah kuar gentian optik plastik.

Rekabentuk Pengesan Gentian Optik – Fabri Perot Interferometer (PGO-FPI)

Kajian ini membincangkan penggunaan kaedah ujikaji Pengesan Gentian Optik Fabri – Perot Interferometer (PGO-FPI). Interferometer ini digunapakai sebagai pengesan cahaya pantulan apabila bahagian hujung gentian diubahsuai dengan bahan lain, sehingga masa perubahan indek bias wap atau keadaan persekitaran berubah maka ianya akan menyebabkan berlakunya perubahan indek bias pada hujung pengesan tersebut.

Perubahan indeks bias akan membuat cahaya memantulkan semula kerana terjadinya proses pemantulan didalam pandu gelombang optik. Proses ini berlaku apabila indeks bias teras lebih besar berbanding dengan indeks bias salutan. Proses pantulan dan pembiasan pada medium yang berbeza dijelaskan sebagai hukum Snell.

Cahaya yang dipantulkan akan dilihat menggunakan spektrometer dengan sumber cahaya putih. Sumber cahaya putih juga dikatakan sebagai sumber cahaya dengan spektrum yang lebar kerana panjang gelombang yang dihantarkan akan dapat terjadi anjakan panjang gelombang. Data hasil ujikaji ialah intensiti cahaya yang diterima dengan perubahan indeks bias hujung pengesan sebagai kuar optik.

Simulasi Kuar Optik

Simulasi kuar optik pada kajian ini menggunakan perisian COMSOL. Data simulasi yang diharapkan ialah keluaran medan elektrik yang berhubungkait dengan satah X, Y dan Z sesuai dengan mod elektrik melintang (*TE Mode*).

Simulasi kuar ini diasaskan pada pengesanan wap Etanol, Aseton dan Methanol. Komponen – komponen medan elektrik yang dikira oleh perisian COMSOL mempunyai sistem koordinat kartesian. Untuk sistem perambatan cahaya didalam pandu gelombang optik, sistem koordinat tersebut diubah semula menjadi sistem koordinat silinder.

Didalam simulasi kuar ini, pola perambatan medan elektrik pada gelombang optik akan ditunjukkan dalam bentuk dua dimensi dengan tingkat pertautan segitiga yang berbeza – beza, sehingga hasil yang didapatkan akan terlihat bentuk simulasi perambatan cahaya.

Pencirian Kuar Optik Bahan ZnO (Zink Oksid)

Kajian pencirian kuar optik dengan menggunakan bahan ZnO akan membincangkan bentuk pencirian bahan serbuk ZnO yang sudah dilekatkan pada hujung pengesan. Data pencirian bahan diambil dari divais AFM (Mikroskop Kuasa Atom), ianya berbentuk imej permukaan bahan dalam tiga dimensi (3-D).

Imej ini direka menggunakan kaedah pengimbas permukaan atau lebih dikenal sebagai mikroskop kuar pengimbas. Didalam perbincangan pencirian kuar hanya menjelaskan salah satu kaedah iaitu kaedah pengimbas purata transformasi fourier cepat. Didalam pengambilan data, kaedah ini mempunyai teknik – teknik pengimbas iaitu; Teknik Ketumpatan Spektrum Kuasa, Spektrum Kuasa, Spektrum Magnitud, Spektrum Magnitud Punca Kuasa Dua dan Spektrum Logaritma.

Matlamat kaedah pengimbas purata transformasi fourier cepat ialah menggantikan domain ketinggian permukaan bahan menjadi kekerapan ketinggian bahan. Perbezaan – perbezaan permukaan boleh dilihat daripada bentuk graf yang dihasilkan oleh masing – masing teknik pengimbasan ini.

Pemodelan dan Optimasi Kuar

Pemodelan didalam rekabentuk kuar optik perlu dilakukan untuk meramalkan keadaan sebenar perambatan cahaya didalam pandu gelombang. Pada bahagian ini akan membincangkan model persamaan matematik dan nilai optimum menggunakan perisian DOE (*Design of Experiment*) atau disebut Rekabentuk Ujikaji.

Matlamat menggunakan DOE ialah untuk mendapatkan hasil maksimum dalam rekabentuk kuar optik. Hasil ini akan dikesan daripada faktor – faktor yang telah ditetapkan. Tahapan – tahapan dalam kajian pemodelan ialah;

1. Menetapkan tujuan ujikaji.
2. Memilih faktor – faktor masukan.
3. Memilih tindakbalas keluaran.
4. Memilih rekabentuk ujikaji.
5. Mengembangkan strategi ujikaji.
6. Menjalankan ujikaji.
7. Mensuaikan dan mendiagnosis model.
8. Mentafsirkan model.
9. Mensahkan model.

Nilai optimum akan didapat apabila tahapan – tahapan yang disebutkan telah dijalankan. Pada kajian pemodelan ini faktor – faktor yang memberikan kesan atau pembolehubah bersandar terhadap pengesanan wap kimia ialah;

1. Panjang kuar (dalam unit cm).
2. Diameter kuar (dalam unit cm).
3. Cecair doping fotoinisiator (dalam unit ml).
4. Tekanan kebuk dalam vakum (dalam unit mBar).
5. Ketulenan cecair pengesan (dalam unit %).

Pembolehubah tindakbalas atau intensiti keluaran diambil sesuai dengan panjang gelombang yang ditetapkan iaitu; 397.14 nm, 410.05 nm, 434.05 nm, 486.13 nm dan 656.03 nm.

Hubungan antara pembolehubah bersandar dan pembolehubah tindakbalas diterokai dengan menggunakan kaedah KTP (Kaedah Tindakbalas Permukaan). Idea utama KTP adalah penggunaan serangkaian percubaan yang direka untuk mendapatkan tindakbalas yang optimum. Untuk melakukan tindakbalas, George E. P. Box dan Donald Behnken menggunakan model polinomial darjah kedua. Mereka menyatakan bahawa model ini hanyalah penghampiran sahaja, tetapi penggunaan seperti sebuah model yang mudah untuk dikira dan digunapakai walaupun penyelidik mempunyai sedikit pengetahuan tentang model matematik daripada proses optimasi secara statistik.

1.6 SKOP DAN BATASAN KAJIAN

Penyelidikan ini menumpukan pada analisa keberkesanan pengesanan wap kimia seperti; Aseton, Ethanol dan Methanol. Dalam melakukan penyelidikan ini, untuk memperoleh model matematik bagi menggambarkan fenomena perambatan gelombang optik dan tindak balas pengesanan wap kimia.

Bahagian pertama tertumpu pada kepekaan pengesanan wap kimia, sehingga mendapatkan julat pita – mati pada proses pengesanan. Pengesanan menggunakan

kaedah EFPI dengan melakukan ubahsuaian salutan gentian optik plastik dengan silikon. Ammonia merupakan wap cecair berbahaya sehingga memerlukan perlindungan kesihatan dalam melakukan proses ujikaji ini. Proses ini boleh dilaksanakan dalam masa singkat dengan melakukan ujikaji tunggal (*Single Experiment*) tanpa menggunakan spesimen uji yang banyak.

Bahagian kedua pula tertumpu kepada simulasi keluaran pengesanan gentian optik. Simulasi ini akan membentangkan tentang perambatan cahaya yang melewati keluaran optik, serta perubahan perambatan gelombang apabila terjadi perubahan indeks bias salutan kerana perubahan indeks wap kimia. Didalam simulasi ini, wap Ethanol, Aseton dan Methanol akan menjelaskan tentang keadaan komponen medan elektrik dan magnetik dalam koordinat silinder. Kemudian pembentangan akan diakhiri dengan bentuk pola perambatan gelombang cahaya dalam bentuk dua dimensi.

Bahagian ketiga penyelidikan ini merangkumi kajian terhadap permasalahan pencirian bahan ZnO. Analisis dilakukan dengan menggunakan MKP. Dari hasil pengukuran yang diperolehi menunjukkan jarak julur keluaran MKP terhadap permukaan spesimen ZnO. Hasil pengukuran yang diperolehi menunjukkan permukaan lapisan ZnO yang telah meliputi data seluruh permukaan tersebut. Data lapisan permukaan pengesanan akan ditukarkan kedalam domain frekuensi atau secara amnya jumlah kekerapan tinggi permukaan pengesanan. Sehingga domain ini dapat menjelaskan keadaan lapisan permukaan ZnO.

Bahagian keempat membincangkan pada model dan optimasi ujikaji pengesanan gentian optik. Model matematik ini boleh dijadikan landasan atau pelantar dalam melakukan reka bentuk keluaran optik dengan pertimbangan 5 pembolehubah sebagai masukannya. Penggunaan model proses kuadratik dapat menjadikan pilihan, walaupun model proses lain boleh digunakan sebagai pilihan tambahan. Model persamaan matematik boleh digunapakai apabila hasil analisa pembeza (ANOVA) setiap pembolehubah memberikan nilai yang cukup ketara. Jika hasil yang diperolehi tidak memberikan nilai yang ketara dengan menggunakan mana-mana kaedah proses (seperti; kaedah proses modifikasi, reka bentuk, Purata, Lelurus, interaksi 2-faktor, kuadratik, kubik, kuartik, turutan-5 dan turutan-6), maka pereka bentuk pengesanan

boleh melakukan pemilihan ketahapan awal semula. Dengan makna lain, parameter yang diberikan mengandungi kesalahan.

1.7 ORGANISASI TESIS

Tesis ini mengandungi tujuh bab dan ia telah disusun seperti berikut,

Bab 1 membincangkan secara am tentang teknologi gentian optik dan beberapa sebab untuk menggunakan pandu gelombang optik sebagai kuar pengesan. Serta tatarajah sistem pengesan gentian optik dan perkembangan pengesan gentian optik secara ringkas.

Bab 2 menjelaskan beberapa kajian literatur dengan memberikan maklumat tentang pandu gelombang optik dengan pengesan gentian optik. Pada pengesan gentian optik menerangkan kategori pengesan gentian optik dengan kaedah pengesanan Interferometer. Bahagian ini juga menjelaskan tentang pengesanan gentian optik pelbagai mod dengan menggunakan kaedah Ekstrinsik Fabry – Perot Interferometer. Proses pembuatan pengesan menjelaskan secara ringkas tentang proses pemendapan dan proses pelapisan kuar gentian optik plastik.

Bab 3 menjelaskan tentang pembangunan semula pengesan gentian optik fabry – perot interferometer. Bahagian ini menjelaskan tentang asas fabry – perot interferometer dan bentuk kepala kuar optik. Didalam penjelasan kuar optik, maklumat tentang proses perambatan cahaya dalam gentian optik plastik dijelaskan secara ringkas. Hasil kajian dijelaskan sesuai dengan pemantulan cahaya daripada lapisan kuar getah silikon dan melakukan ujikaji dengan mengesan wap ammonia.

Bab 4 menerapkan tentang simulasi kuar pengesan gentian optik. Di awalbab ini membincangkan tentang persamaan asas pandu gelombang silinder dan persamaan gelombang cahaya pada koordinat silinder, syarat sempadan dan persamaan pencirian untuk gentian optik indeks bertingkat serta syarat – syarat mod terpenggal. Simulasi ini menggunakan perisian COMSOL – Modul Optik.

Di dalam analisa domain frekuensi telah digunakan dalam menjalankan analisis data simulasi kuar pengesan. Komponen medan elektrik yang ditunjukkan ialah E_x, E_y, E_r, E_ϕ . Untuk nilai medan E_x, E_y ianya ialah gabungan daripada medan E_z , kerana di dalam pengiraan selalunya menggunakan koordinat silinder. Begitu juga dengan medan magnetik H_x, H_y, H_r, H_ϕ yang menggunakan pengiraan yang sama seperti medan elektrik.

Bab 5 menjelaskan tentang pencirian kuar optik menggunakan hasil pengamatan bahan ujikaji melalui Mikroskop Kuar Pengimbas. Jenis mikroskop yang digunakan ialah Mikroskop Daya Atom. Kaedah yang digunakan dalam analisis ini ialah kaedah pengimbas purata Transformasi Fourier Cepat (TFC). Kaedah pengimbasan untuk jenis ini mempunyai lima teknik pengiraan pengimbasan yang berbeza – beza, seperti; Teknik Ketumpatan Spektrum Kuasa, Teknik Spektrum Kuasa, Teknik Spektrum Magnitud, Teknik Spektrum Magnitud Punca Kuasa Dua dan Teknik Spektrum Logaritma. Di dalam pencirian ini dapat dilihat pencirian bahan zink oksid dengan menggunakan teknik pengiraan pengimbasan.

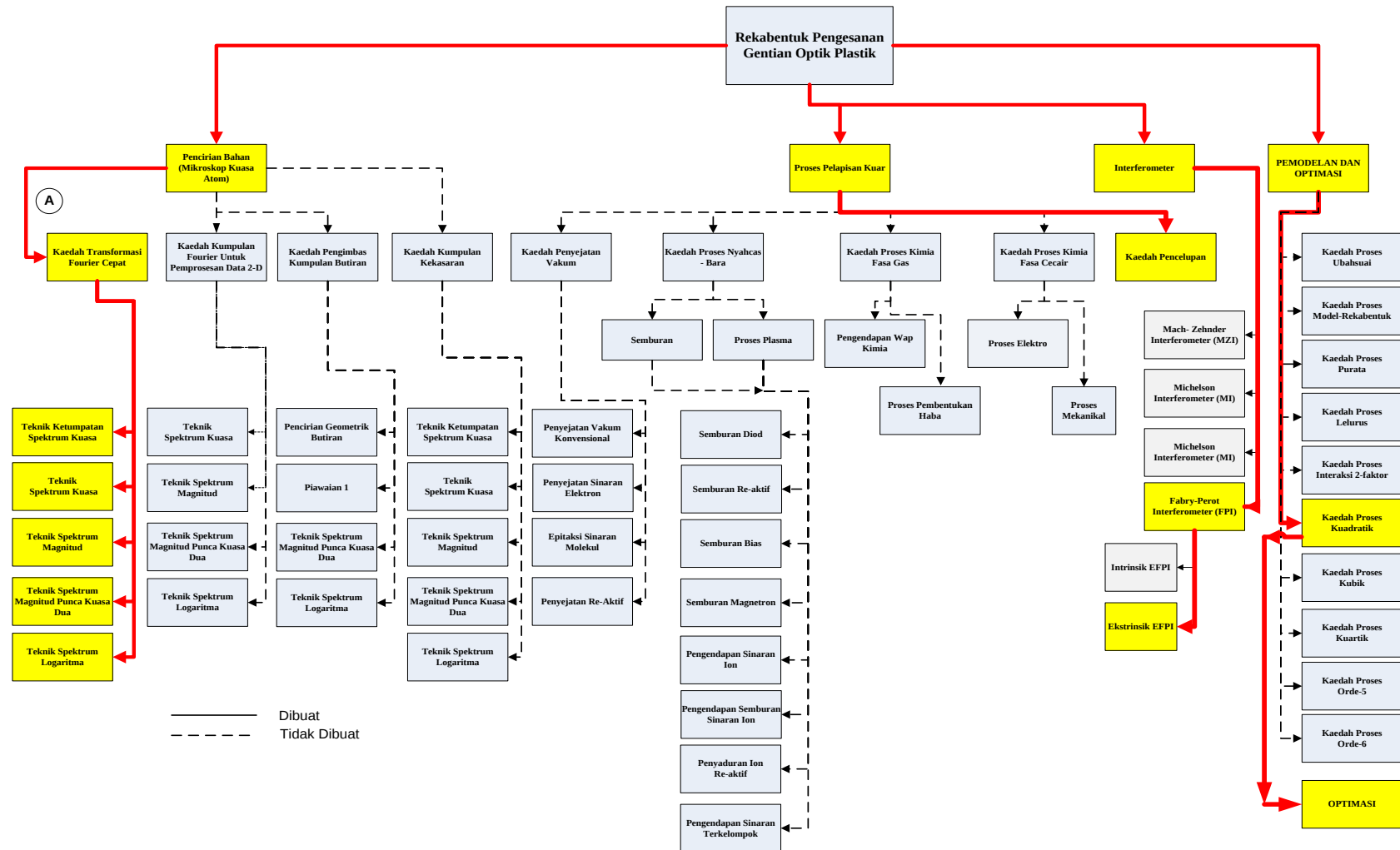
Bab 6 membincangkan pemodelan dan optimasi ujikaji pengesanan wap kimia menggunakan gentian optik plastik. Data yang diambil sebanyak 138 kuar dengan rekabentuk ujikaji pengesanan wap Aseton, Ethanol dan Methanol. Di dalam rekabentuk kuar ini, beberapa pemilihan variabel iaitu; panjang kuar, diameter kuar, pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan. Kaedah pengesanan menggunakan Ekstrinsik Fabry – Perot Interferometer (EFPI). Pemodelan dilakukan menggunakan perisian DESIGN – EXPERT yang kemudiannya diproses untuk mendapatkan nilai optimum. Dalam menjalankan proses ini, ianya harus memilih salah satu yang mendapatkan nilai “ketara / *Significant*” dari beberapa kaedah tersebut, seperti; modifikasi, Model Reka bentuk, Purata, Lelurus, 2-FI (Interaksi 2 faktor), kuadratik, kubik, kuartik, turutan-5 dan turutan-6. Nilai kesahihan didapati setelah proses reka-bentuk model persamaan dilakukan. Pereka bentuk model harus mengujikaji model persamaan dengan rekabentuk kuar gentian optik plastik yang baru beserta dengan nilai pembolehubah yang baru. Kedua hasil

tersebut dapat dibandingkan untuk melihat hubungkait intensiti yang diperolehi.

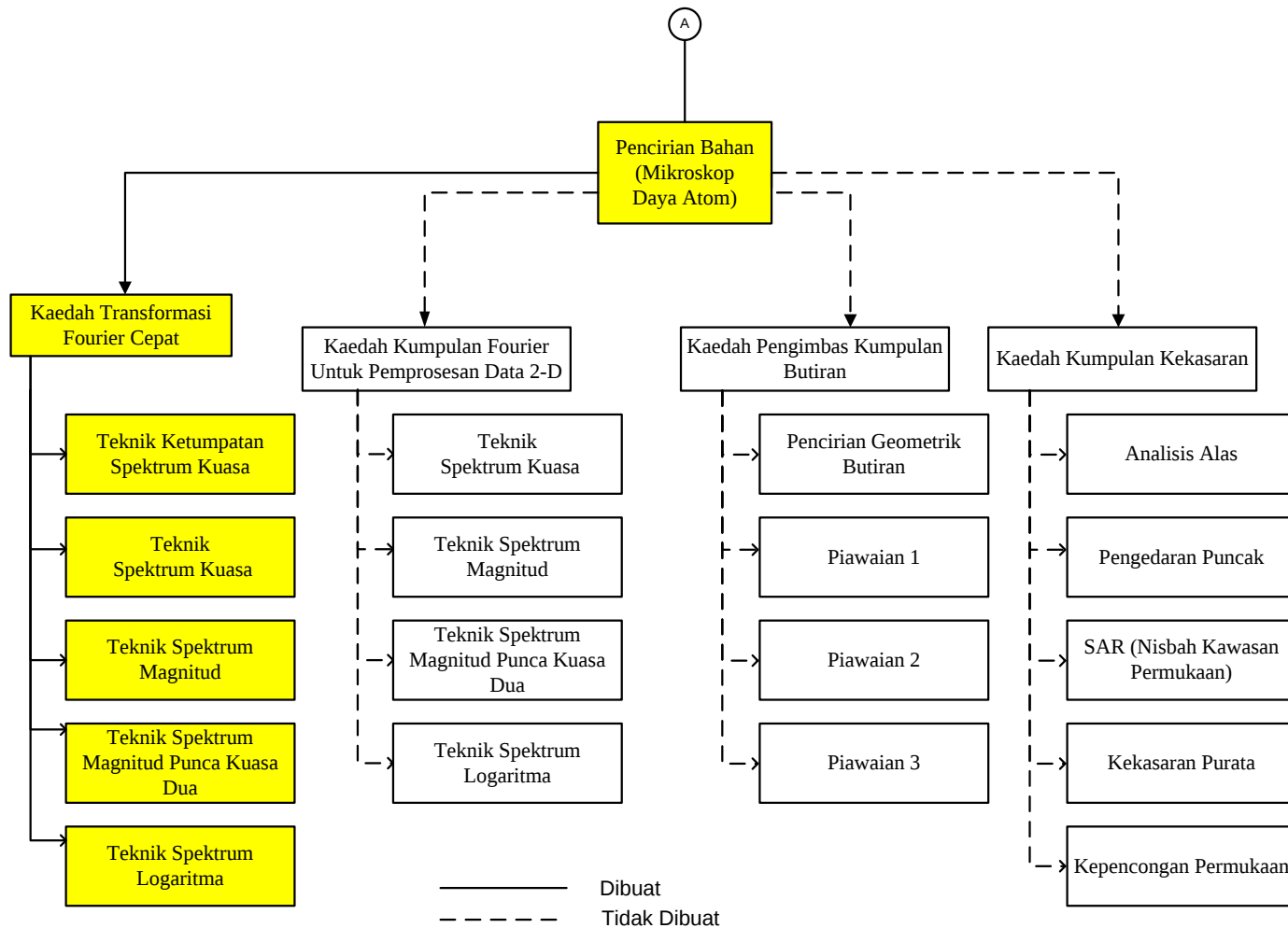
Bab 7 membincangkan kesimpulan daripada kajian yang telah dijalankan. Pada bahagian ini akan menunjukkan nilai hubungkait dan R kuasa dua antara nilai ramalan yang dikira menggunakan perisian DOE dengan hasil ujikaji semula untuk melihat kesahihan data. Hasil yang utama dalam kajian ini ialah sumbangan penyelidikan, ianya merupakan persamaan matematik sebagai pelantar dalam rekabentuk kuar sebagai pengesan wap kimia; Aseton, Ethanol dan Methanol. Kemudian perbincangan mengenai kajian – kajian lanjutan yang boleh dilakukan sesuai dengan data dan pembolehubah yang sudah ditentukan.

Rajah 1.2 menjelaskan aliran kajian yang dijalankan untuk rekabentuk pengesanan wap kimia. Pada rajah 1.2 rekabentuk dibahagi kedalam empat bahagian disertai kaedah – kaedah untuk mendapatkan data hasil pengesanan tiga wap cecair serta pencirian bahan salutan pengesan. Setiap bahagian hanya menggunakan satu kaedah disertai dengan beberapa teknik – teknik untuk mendapatkan maklumat daripada kajian ini.

Begitu pula dengan Rajah 1.3 menjelaskan pencirian bahan salutan gentian optik melalui Kaedah Transformasi Fourier Cepat. Pada kaedah ini terdiri dari empat teknik yang digunakan untuk melihat keadaan permukaan bahan. Garis putus – putus menjelaskan bahawa bahagian tersebut tidak dilakukan proses ujikaji pencirian bahan.



Rajah1.2 Aliran kajian thesis dan sumbangan utama



Rajah 1.3 Aliran kajian untuk pencirian bahan

BAB II

KAJIAN PERPUSTAKAAN

2.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Teknologi optik sering digunakan dalam teknologi pengukuran dengan skala yang sangat besar sebagai pengesan. Kaedah konvensional seperti azas interferometri dan spektroskopi digunakan untuk pemantauan ruang bebas, kaedah ini pula akan efektif apabila gelombang optik saling terlihat berhadapan serta cukup untuk mengembalikan keadaan semula dan bebas dari gangguan luar. Pengesan pandu gelombang memberikan keuntungan tambahan, iaitu membolehkan pemanduan alur cahaya pada sebuah batas dan medium yang tidak dapat dilalui, sehingga memungkinkan lebih fleksibel serta tanpa mengganggu pengukuran.

Teknologi gentian optik pada mulanya dibangunkan untuk penggunaan teknologi telekomunikasi. walaubagaimanapun, pengembangan lanjutan untuk kualiti yang lebih tinggi dan harga komponen optoelektronik yang sangat kompetitif dan banyaknya penggunaan gentian optik memberikan sumbangan pada pengembangan pandu gelombang sebagai pengesan. Beberapa faktor pandu gelombang optik digunakan sebagai pengesan seperti;

1. Penggunaan tanpa sumber elektrik, dimana cara ini menawarkan kekebalan intrinsik pada frekuensi radio dan untuk semua jenis gangguan elektromagnetik.
2. Ukuran/berat yang kecil dan sangat fleksibel.
3. Kemampuan mengesan pergerakan secara kimia dan ionisasi alam sekitarnya.

4. Mudah dihubungkan dengan sistem komunikasi data optik dan pemindahan data.

Pengesan pandu gelombang yang dibangun adalah untuk menyelesaikan masalah industri, bidang otomotif, penerbangan, migelungy, geofizik, alam bina dan bioperubatan. Saiz pengesan adalah dalam bentuk sederhana dan penggunaannya yang mudah untuk difahami dalam pada bidang tertentu dengan teori yang mudah. Beberapa kajian dilaporkan untuk memahami teknologi pengesanan (Culshaw & Dakin 1988; Culshaw & Dakin 1989; Culshaw & Dakin 1996; Culshaw & Dakin 1997; Grattan & Meggit 1999; Krohn 2000; Lopez-Higuera 2002).

2.1.1 Teori Asas Pandu Gelombang Optik (PGO)

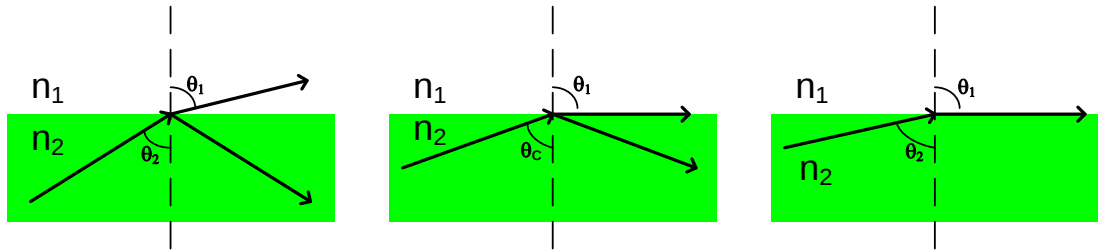
Berdasarkan teori sinar dari rambatan cahaya, ketika cahaya menyentuh antarmuka dua medium yang berbeza, sebahagian akan dipantulkan dan sebahagian lagi akan dibiaskan. Hukum Snell menjelaskan fenomena biasan seperti pada rajah 2. 1.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2. 1)$$

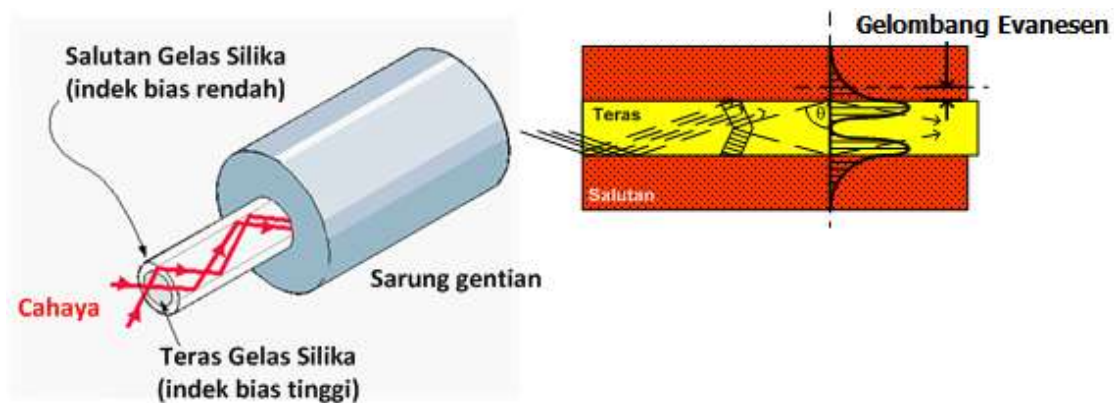
Ketika $n_2 < n_1$, setiap cahaya yang bersentuh pada antarmuka dengan θ_1 sebagai sebuah sudut tiba lebih besar dari pada θ_2 sebagai sudut pembiasan, maka seluruh cahaya akan dipantulkan kedalam medium pertama.

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2. 2)$$

θ_c simbol tersebut dikatakan sebagai sudut kritikal daripada berlakunya pemantulan dua medium. Sebuah gentian optik terdiri dari lapisan silinder kaca atau plastik, seperti ditunjukkan pada rajah 2.2. Lapisan silinder dalam dan silinder luar, dinamakan teras dan salutan, yang mempunyai simbol pembiasan n_1 dan n_2 .



Rajah 2.1 Pantulan dan pembiasan pada antarmuka dua medium yang berbeza: Hukum Snell

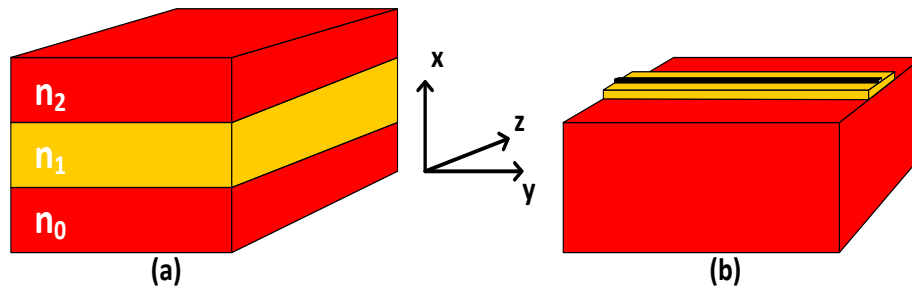


Rajah 2.2 Perambatan sinar pada gentian optik

Sebuah pandu gelombang terpadu, terdiri dari sebuah film nipis, dibentuk oleh sebuah substrat. Rajah 2.3, menunjukkan lapisan pandu (teras, dengan indeks bias n_1) diletakkan pada sebuah bahan telus (mempunyai indeks bias n_0) dan dilapisi oleh lapisan lain (salutan, dengan indeks bias n_2). Jika $n_2 = n_0$ maka bentuk yang sama atau simetri akan diperolehi, analogi yang sama dengan gentian optik; yang mana, apabila permukaan luaspaksi x-y gentian dan pandu gelombang plat berbeza antara satu dengan lain, maka permukaan luaspaksi x-z akan mempunyai bentuk yang sama serta boleh melakukan proses pandu gelombang. Walau bagaimanapun, jika salutan adalah udara ($n_2 = 1$), maka pandu gelombang planar adalah tidak sama atau asimetri. Pada kes ini cahaya dibatasi hanya sepanjang arah x, sementara tenaga cahaya boleh dipancarkan pada bidang y – z.

Pembatasan cahaya juga berlaku sepanjang arah y seperti diterangkan oleh sebuah pandu gelombang lajur, ditunjukkan pada rajah 2.3b, dimana pantulan sinar cahaya penuh terjadi pada sisi dinding. Untuk kedua – kedua gentian dan pandu gelombang satah bergantung pada indeks bias di koordinat x serta $n(x)$ dikatakan

sebagai profil indeks bias. Untuk kes sederhana jika $n(x) = n_1 = \text{malar}$, maka pandu gelombang satah disebut sebagai pandu gelombang indeks langkah (*Step Index*), begitu juga dengan pandu gelombang indeks bertingkat (*graded index*) dan profil akhir boleh dihasilkan dengan kedua teknik iaitu dengan cara peletakkan sebuah lapisan jamak atau dengan sebuah proses pembauran.



Rajah 2.3 Pandu gelombang plat (a), dan pandu gelombang lajur (b)

Dengan pertimbangan bahawa cahaya merupakan sebuah fenomena gelombang elektromagnetik, sebuah rambatan dengan sebuah pandu gelombang dijelaskan dengan persamaan Maxwell. Ketika syarat batas pada medium antaramuka diperkenalkan, hanya keluaran diskrit persamaan gelombang diizinkan dalam penggunaannya. Dalam hal ini gelombang diskrit boleh merambat, atau dinamakan dengan mod, hal ini dicirikan dengan amplitud diskrit dan kelajuan diskrit (Marz 1995; Snyder & Love 2007).

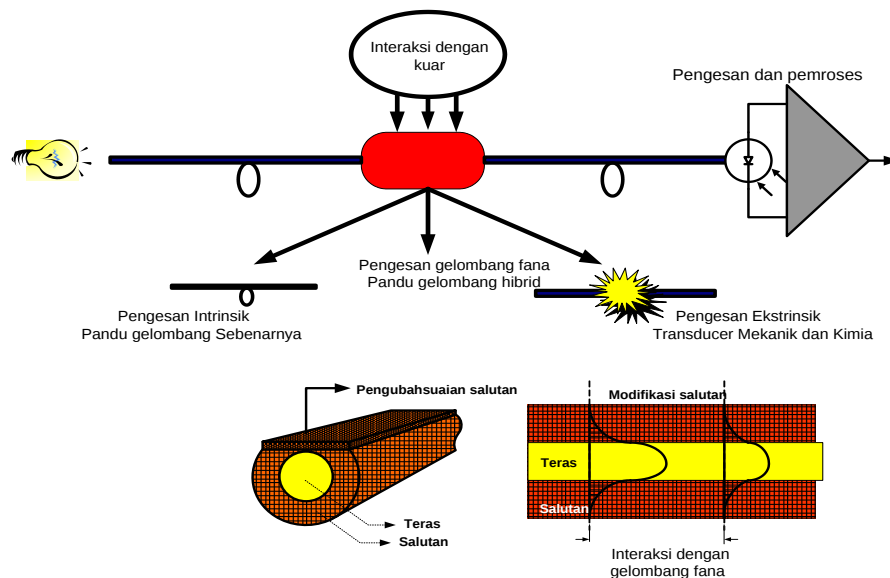
Pandu gelombang boleh berbentuk Mod Tunggal atau Mod Pelbagai berasaskan samada kedua mod tersebut boleh melakukan rambatan. Setelah bahan – bahan yang merupakan pandu gelombang yang ditetapkan untuk suatu panjang gelombang tertentu, maka jumlah mod yang disokong bergantung kepada dimensi pandu gelombang, iaitu pada jejari teras gentian atau tebal pandu gelombang plat.

Sebuah pencirian mod terpandu adalah sangat penting untuk peranti pengesayang mana distribusi amplitud istimewa yang berinteraksi antara mod rambatan dan jumlah pengiraan (peranti pengesan) berlaku melalui medan sesaat dari mod tersebut, iaitu memperlihatkan penurunan secara eksponensial pada bahagian akhir.

2.1.2 Kaedah Asas Kerja : Pengesan Pandu Gelombang Optik

Walaupun terperangkap dimedium pandu gelombang dielektrik, radiasi yang merambat pada pandu gelombang tersebut boleh terjejas disebabkan oleh persekitaran dan gangguan ini boleh digunakan sebagai gambaran maklumat yang bermanfaat untuk proses pengesanan. Kebiasaannya, interaksi parameter penting, iaitu proses pengesanan, dimana pandu gelombang menghasilkan sebuah modulasi dalam rambatan tetap untuk memandu sinar cahaya.

Pemodulatan mewakili fungsi kepekaan pengesanan adalah sangat penting seperti dalam Rajah 2.4. Unsur – unsur asas yang merupakan pengesanan pandu gelombang adalah; sebuah sumber optik, sebuah permukaan optik dari sumber ke pengganding pandu gelombang cahaya, pandu gelombang tersebut dimana pengesanan mempengaruhi terjadinya modulasi cahaya, sebuah pengesanan – photodan penguat elektronik, pemprosesan isyarat dan paparan data.

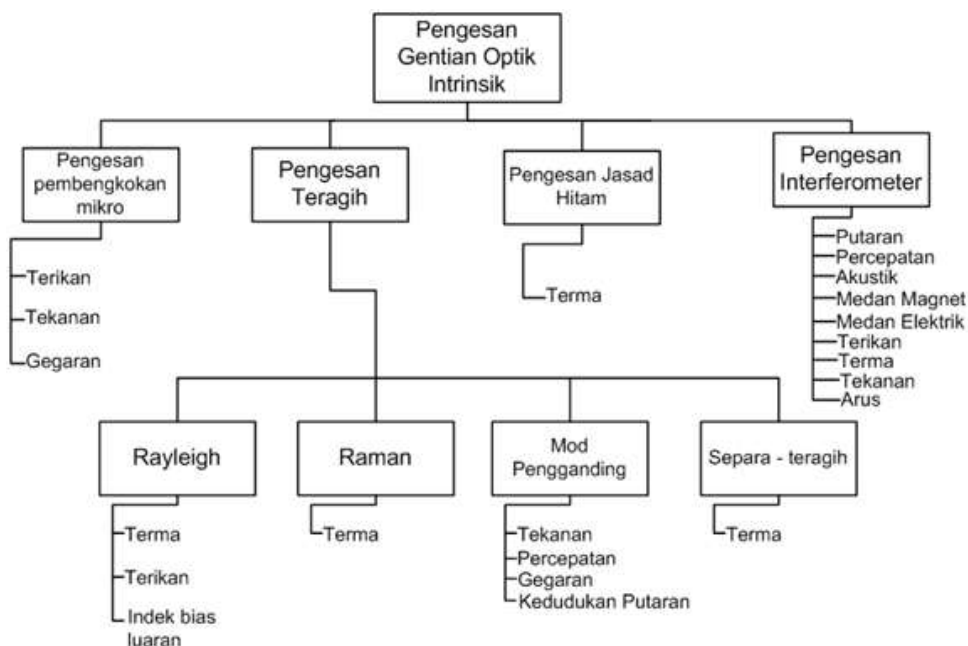


Rajah 2.4 Pengesan pandu gelombang: kaedah kerja umum

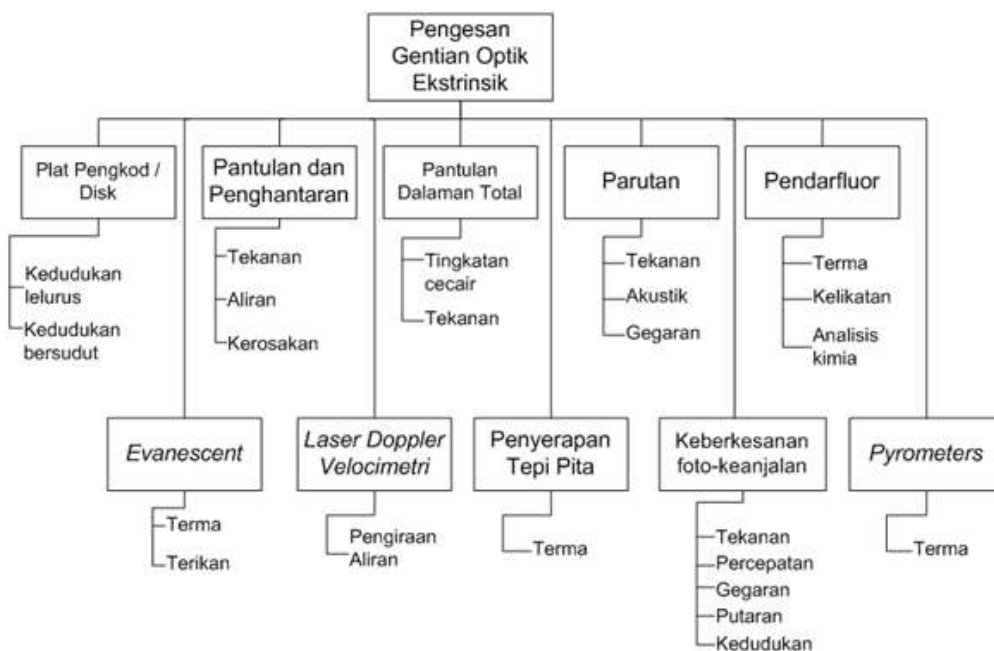
Berdasarkan pada parameter optik, yang dimodulasi oleh pengesanan, pengesanan pandu gelombang boleh dibahagikan kepada empat kategori asas :

1. Modulasi fasa
2. Modulasi polarisasi
3. Modulasi panjang gelombang
4. Modulasi keamatan

Pengesan pandu gelombang kemudiannya dibahagikan kepada pengesan intrinsik, pengesan ekstrinsik atau pengesan gelombang fana. Pengesan intrinsik merupakan pengesan pandu gelombang sebenarnya dimana elemen – elemen pengesan merupakan pandu gelombang itu sendiri seperti yang dilihat pada rajah 2. 5.



Rajah 2.5 Tatarajah Pengesan Optik Intrinsik



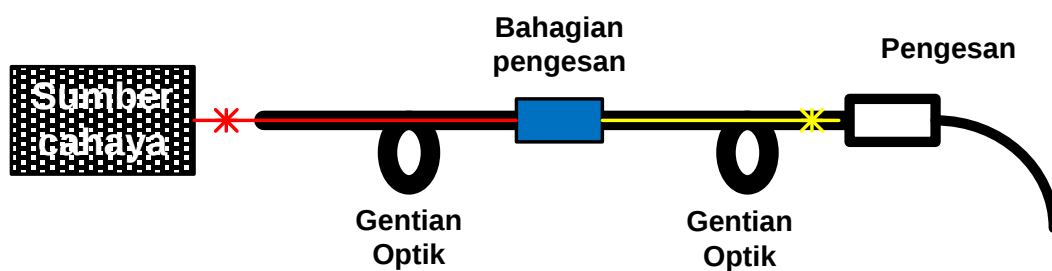
Rajah 2.6 Tatarajah Pengesan Optik Ekstrinsik

Rajah 2.6 diatas menunjukkan tatarajah pengesanan ekstrinsik dimana pengesanan dibuat dengan menggunakan sebuah kuar optik yang digandingkan kepada pandu gelombang, pemalar optik akan dimodulasi oleh penderia tersebut. Penderia gelombang fana merupakan penderia intrinsik/ekstrinsik hibrid, semula kejadian pengesanan teraruh modulasi pada pandu gelombang itu sendiri, dalam kebanyakan kes disebabkan oleh kehadiran penderia bahagian salutan sensitif.

2.2 PENGESAN GENTIAN OPTIK

Gentian optik telah digunakan dalam aplikasi pengesanan sejak dari empat puluh tahun yang lalu. Sensor gentian optik telah memberikan banyak kepentingan dalam beberapa bidang yang berbeza kerana kelebihan seperti: kadar kehilangan yang rendah dan ketepatan yang tinggi, tidak tertakluk kepada gangguan elektromagnet (Morisawa et al.); rintangan kepada kakisan bahan kimia, suhu tinggi dan persekitaran yang teruk; saiz kecil, ringan, memudahkan dalam pemasangan, dan keupayaan kawalan jauh (Krohn 2000). Pengesan Gentian Optik (PGO) memberikan banyak kelebihan berbanding pengesan elektrik dan mekanikal konvensional.

Prestasi asas boleh dicapai lebih cepat dengan sensitiviti yang lebih tinggi. Tambahan pula, PGO lebih kukuh dan fleksibel apabila dipasang dalam persekitaran yang lemah sehingga menjadikan PGO menjadi tidak praktikal.



Rajah 2.7 Tatarajah asas sebuah pengesan gentian optik

Rajah 2.7 menunjukkan susunan asas PGO (Llyas & Moustah 2003) dengan mengesan parameter cahaya yang dibawa ke dalam gentian optik. Parameter pengesanan, seperti: kekuatan, panjang gelombang, fasa dan polarisasi, suhu, tekanan, gegaran akustik, tekanan linear, kelembapan, pengukuran kimia dan biologi, boleh diukur.

2.2.1 Kategori Pengesan Gentian Optik (PGO)

Berasaskan pada parameter – parameter pengesan, pengesan gentian optik boleh dibahagikan kepada empat kategori utama: pengesan intensiti termodulat; pengesan panjang gelombang termodulat; pengesan fasa termodulat dan pengesan polarisasi termodulat (Xiaopei 2003).

Maklumat boleh dikesankan dari segi intensiti pada pengesan intensiti termodulat. Sebagai contoh, turun – naik tekanan boleh diukur menggunakan sebuah gentian julus dengan pemantulan bahagian muka akhir. Satu lagi contoh adalah pengesan gentian lengkungan mikro dimana selekoh kecil gentian boleh dikesan dengan mengesan perubahan kehilangan cahaya melalui peranti pengesan. Dalam suatu gelombang termodulat pengesan gentian optik, pancaran cahaya berada dalam jarak gelombang akan termodulat oleh kesan alam sekitar. Contoh jenis pengesan gentian termasuk pengesan cahaya jasad hitam, pengesan pendafluor, dan pengesan parutan Bragg. Pengesan gentian neon juga digunakan secara luas untuk pengesan bahan kimia dan penggunaan perubatan. Pengesan parutan Bragg sangat sensitif pada tekanan mekanikal. Parutan ini dibentuk dalam gentian menggunakan laser pengesan ultraviolet.

Polarisasi termodulat boleh digunakan untuk mengukur medan elektrik atau magnet dengan mengira ukuran khas arus elektrik. Pengesan fasa termodulat juga dikatakan pengesan interferometri, termasuk Sagnac, Mach-Zehnder, Michelson dan Pengesan Fabry-Perot Interferometer (FPI) (Jackson 1994).

Satu contoh lagi adalah pengesan gentian bengkokkan mikro dimana selekoh kecil gentian boleh dikesan dengan pengesan perubahan kehilangan cahaya melalui pemindaharuh. Di dalam suatu panjang gelombang termodulat pengesan gentian optik, sebuah sinar cahaya dimodulat pada panjang gelombang dengan sebuah pengaruh alam sekitar. Contoh jenis – jenis pengesan gentian termasuk pengesan radiasi jasad hitam, pengesan fluorescence dan pengesan parutan Bragg.

Pengesan gentian fluorescent digunakan secara luas untuk pengesan bahan kimia dan penggunaan perubatan. Pengesan parutan Bragg sangat peka terhadap terikan. Biasanya parutan ini dibentuk pada sebuah gentian optik menggunakan laser ultraviolet. Pengesan polarisasi termodulat boleh digunakan untuk pengukuran elektrik atau medan magnet dengan penggunaan khas pengukuran arus elektrik. Pengesan fasa termodulat juga dikatakan sebagai pengesan interferometer, termasuk pengesan Sagnac, Mach-Zehnder, Michelson dan Fabry-Perot. Diantara interferometer yang disebutkan, penggunaan secara luas oleh beberapa penyelidikan ialah pengesan Fabry-Perot interferometer (Jackson 1994).

2.2.2 GentianPengesan Fabry-PerotInterferometer(GP-FPI)

Gentian Pengesan Fabry-Perot Interferometer (GP-FPI) telah digunakan pada pengesanan terma, terikan, akustik dan tekanan selama dua dekad yang lalu (Yu & Yin 2002). Interferometer Fabry-Perot terdiri dari dua cermin selari dipisahkan dengan sebuah panjang rongga, melalui dua sinar cahaya bergabung dimana masing – masing cahaya membentuk intensiti pola frinji. Fasa pola frinji berhubung langsung dengan parameter – parameter yang diukur.

Pengesan FPI dapat diklasifikasi sebagai pengesan Fabry-Perot Interferometer Ekstrinsik (FPIE) dan pengesan Fabry-Perot Interferometer Intrinsik (FPII). Apabila gentian optik hanya bekerja sebagai medium penghantar yang memandu cahaya '*kepada dan dari*' pengesan maka pengesan ini dikategorikan sebagai sebuah pengesan FPIE. Begitupula, gentian optik boleh digunakan sebagai elemen pengesan yang ketara, rongga Fabry-Perot terdiri dari dua cermin pemantul diletakkan pada gentian atau bahagian dari gentian. Pada kes ini, pengesan dikenali sebagai sebuah pengesan intrinsik.

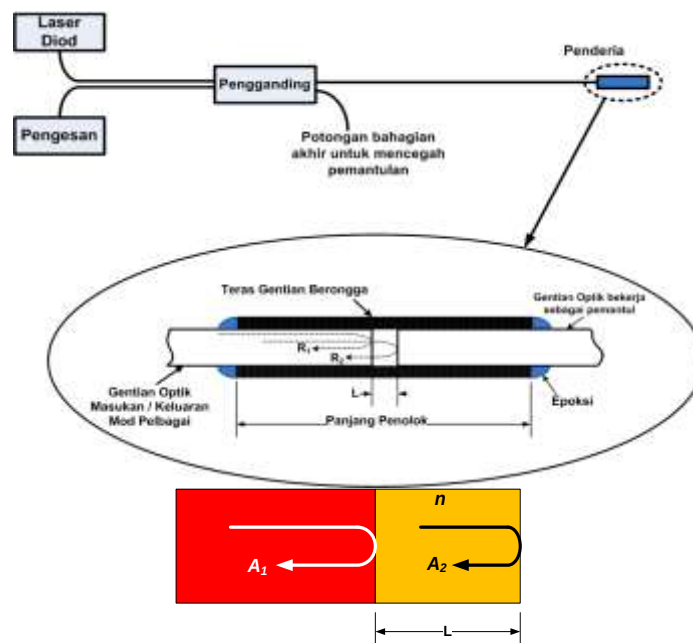
Pembuatan yang mudah, kepekaan yang tinggi, ukuran miniatur dan kos yang rendah membuat kedua pengesan FPIE dan FPII sangat penting dalam bidang pengesanan. Kebanyakan usaha pengesan Fabry-Perot gentian optik telah dikhaskan untuk alat pengesan termasuk terma, tekanan, kelembapan, medan magnet dan kadar aliran.

2.3 GENTIAN PELBAGAI MOD –FABRY-PEROT INTERFEROMETER EKSTRINSIK

Teknologi interferometer, termasuk Interferometer Mach-Zehnder, Sagnac, Michelson and Fabry-Perot (FP) diterima secara luas dalam bidang pengesan gentian optik. Pengesan – pengesan gentian optik berasaskan pada Fabry-Perot interferometer diterima dengan penuh perhatian oleh beberapa penyelidik kerana memberikan banyak keuntungan berbanding dengan bentuk pengesan interferometer lainnya, seperti saiz yang kecil, kepekaan yang tinggi, langsung pada sumber pengesanan, tidak bergantung pada polarisasi cahaya, dan kapasiti pemultipleksan (Lee & Taylor 1992).

2.3.1 Fabry-Perot Interferometer (FPI)

Seperti yang telah dibincangkan sebelumnya, GP-FPI (Gentian Pengesan – Fabry Perot Interferometer termasuk pengesan FPIE (Fabry – Perot Interferometer Ekstrinsik) dan pengesan FPII (Fabry – Perot Interferometer Intrinsik). Walau bagaimanapun, pengesan FPIE merupakan pengesan yang lebih popular digunakan dalam penyelidikan. Pelbagai jenis pengesan gentian optik telah direka dan digunakan pada pelbagai jenis pengesanan dengan pelbagai jenis keluaran pengesan.



Rajah 2.8 Tatarajah asas sebuah Fabry-Perot interferometer

Fabry – Perot Interferometer (FPI) merupakan sebuah peranti sederhana yang bergantung kepada percampuran daripada berbilang sinar. Interferometer ini terdiri daripada dua permukaan reflektif selari, separa telus yang baik sejajar dengan membentuk rongga Fabry-Perot optik dengan panjang L dan rongga dengan indeks biasan n . Apabila cahaya monokromatik memasuki rongga Fabry-Perot, maka dua pantulan di kedua – dua permukaan dengan menghasilkan amplitud A_1 dan A_2 . Maka, kedua percampuran sinar pantulan menghasilkan sebuah pola pencampuran terdiri daripada puncak dan lembah pada isyarat gelombang ataupun seperti sifat pencampuran cahaya saling membinakan dan sifat pencampuran cahaya saling meruntuhkan. Jumlah keseluruhan intensiti cahaya pantul dapat dituliskan untuk tingkat interferometer dengan kehalusan rendah (rajah 2. 8):

$$I = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\Delta\phi)$$

$$I = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\left(\frac{4\pi nL}{\lambda}\right) \quad (2.1)$$

A_1 dan A_2 merupakan intensiti kerana kedua sinar diambil secara terpisah. $\Delta\phi$ merupakan anjakan fasa relatif antara dua isyarat cahaya. λ melambangkan panjang gelombang sumber cahaya yang disiasat. Prinsip asas pengesan interferometer Fabry-Perot sangat jelas: perubahan pada panjang rongga Fabry-Perot akan menghasilkan intensiti modulat kosinus isyarat keluarannya. Perubahan parameter fizikal dalam pengukuran ditukarkan menjadi sebuah perubahan panjang rongga L dan seterusnya mengubah parameter I . Oleh kerana itu, parameter perubahan fizikal boleh didapati dengan mengkaji nilai I .

2.3.2 Gentian Pengesan Multimod –FPIE

Gentian Mod Pelbagai(GMP) dapat digunakan pada sebuah pengesan gentian optik FPIE. GMP berasaskan pengesan FPIE kurang menarik minat dalam penyelidikan dan hasil industri berbanding pengesan berasaskan Gentian Mod Tunggal (GMT) kerana kesukaran mendapatkan penglihatan yang tinggi. Walau bagaimanapun, potensi yang besar untuk kecekapan sistem GMP tidak boleh diabaikan. Disamping itu, apabila menggunakan pengesan digunakan sebagai pengesan biosensor, pengesan GMP –

FPIE mempunyai keuntungan daripadakawasan pengesanan yang luas (saiz teras gentian optik) berbanding dengan pengesan GMT –FPIE. Keterlihatanpinggiran cahaya(V_b) dari sebuah pengesan FPIE ditakrifkan oleh persamaan,

$$V_b = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(I_{max} + I_{min})} \quad (2.2)$$

dimana I_{max} dan I_{min} merupakan intensiti spektrum maksima dan minima pada spektrum pinggiran cahaya daripada pengesan FPIE. Penglihatan pinggiran cahaya ialah salah satu parameter paling penting yang bercirikan prestasi sebuah pengesan FPIE. Parameter yang mempengaruhi penglihatan pinggiran cahaya termasuk: struktur kepala pengesan, parameter gentian, dan pengagihan kuasa mod dalam GMP daripada penderia.

GMP terdiri daripada sebuah penglihatan frinji yang berbeza kerana diameter yang besar dan celah numerik yang besar, sehingga, pencampuran isyarat cahaya yang baik, sukar untuk dijana pada GMP –FPIE (Zhu et al. 2005). Frinji sangat peka terhadap kehalusan permukaan dan kerataan cermin, jarak dan terutama keselarian kedua – dua permukaan (Wagner & Sandahl 1982). Walaupun sudut cermin pantul 10^{-2} darjah dengan ketara boleh mengurangkan penglihatan pinggiran cahaya (P érenn ès et al. 1999).

Walau bagaimanapun juga, penglihatan frinji secara besarnya ditentukan oleh perbandingan khas antara isyarat terhadap hingar (SNR) sesuatu sistem dan hal ini ialah salah satu parameter yang paling penting bercirikan pengesan FPIE. Kesukaran untuk mendapatkan nilai penglihatan frinji yang tinggi merupakan salah satu kelemahan bagi pengesan GMP -FPIE dan kelemahan ini yang perlu diatasi.

2.4 PEMBUATAN PENGESAN

Pengesan gentian optik plastik diubah suai dengan menggantikan bahan salutan gentian dengan bahan Zink Oksid. Sebelum melakukan pelapisan salutan, perlu melakukan proses punaran untuk menghakis lapisan salutan gentian optik plastik yang digunakan.

2.4.1 Proses Punaran

Proses punaran dalam gentian optik plastik menggunakan cairan aseton sebagai cecair penghakis. Proses penghakisan dilakukan dengan meletakkan gentian optik plastik yang akan dijadikan kuar optik, seperti terlihat pada rajah 2. 9.



Rajah 2.9 Proses punaran dengan menggunakan Asetondi dalam sebuah bekas

Penghakisan akan berlaku dalam masa 20 minit sehingga 30 minit. Pengukuran diameter kuar dilakukan dalam setiap 10 minit, untuk mendapatkan diameter yang diharapkan pada setiap kuar tersebut.

Cecair aseton boleh digunakan selagi keadaan cecair berada dalam keadaan jernih. Kuasa penghakisan akan berkurangan jika cecair aseton dalam keadaan putih keroh, penggantian cecair aseton yang baru perlu untuk melakukan proses punaran semula.

2.4.2 Proses Pelapisan

Pelapisan menggunakan bahan serbuk Zink Oksid (Rajah 2. 10) dicampur dengan cecair methanol. Untuk pencampuran bahan, 30 ml cecair Methanol dicampur dengan serbuk Zink Oksid sebanyak 0.4884 gr. Proses pengambilan bahan Zink Oksid dapat dilihat pada Rajah 2.11.



Rajah 2.10 Bahan Zink Oksid Nanopowder



Rajah 2.11 Pengambilan serbuk Zink Oksid disesuaikan dengan perbandingan campuran

Proses pencampuran dilakukan diatas plat pengacau. Masa proses pengacau dilakukan dengan masa 4 jam pada suhu 70°C . Matlamat pemilihan suhu ialah untuk mendapatkan proses sebatian dengan cepat daripada dua bahan yang dapat dilarutkan atau dicampurkan (serbuk ZnO dan Methanol) agar dapat disalutkan kepada kuar optik, seperti rajah 2.12.



Rajah 2.12 Proses pengkacau bahan Zink Oksid dengan cecair Methanol

Untuk dapat melekatkan bahan serbuk Zink Oksid kepada kuar cairan fotoinisiator perlu ditambahkan. Cecair fotoinisiator digunakan secara meluas dalam pembungkusan bahan sebagai komponen utama ialah dawat UV. Sifat – sifat yang diharapkan dalam pelapisan kuar optik, ialah kelekatan, kelajuan dalam kembali keadaan semula, lapisan yang tahan calar dan lelasan, tahan cuaca, kelenturan dan sistem yang berpigmentasi.

Fotoinisiator merupakan sebuah sebatian secara khas yang ditambah kepada formulasi untuk menukar serapan tenaga cahaya, UV atau cahaya tampak kedalam tenaga kimia dalam bentuk jenis awal, iaitu radikal bebas atau ion - ion. Berasaskan mekanisma dengan terbentuknya radikal bebas , fotoinisiator pada amnya terbahagi kepada dua kelas :

Jenis – 1 fotoinisiator menjalankan sebuah proses pembelahan ikatan banyak molekul setelah iradiasi untuk menghasilkan radikal bebas.

Jenis – 2, fotoinisiator menjalankan proses reaksi biomolekular dimana keadaan eksitasi daripada fotoinisiator berinteraksi dengan molekul kedua untuk menjana radikal bebas.



Rajah 2.13 Proses pelapisan pada kuar gentian optik plastik

Fotoinisiator UV jenis – 1 dan jenis – 2 boleh didapati tetapi fotoinisiator cahaya tampak digolongkan pada jenis 2. Fotoinisiator untuk diproses secara cekap, pita penyerapan daripada fotoinisiator haruslah bertindih dengan pelepasan spektrum sumbernya dan mesti ada minima penyerapan lainnya oleh formulasi komponen pada panjang gelombang yang sepadan dengan fotoinisiator pengujaan.

Untuk pemilihan awal daripada fotoinisiator dalam permohonan yang dicadangkan ialah, eksitasi panjang gelombang pengujian yang terletak dispektrum pelepasan daripada sumber UV.

2.5 KESIMPULAN

Cecair aseton dapat digunakan sebagai penghakis gentian optik plastik. Waktu hakisan yang digunakan ialah 20 minit sehingga 30 minit. Pengukuran saiz diameter kepala kuar dilakukan setiap 10 minit penghakisan gentian optik plastik tersebut. Untuk mendapatkan hasil hakisan yang baik, maka baki cecair yang telah digunakan dapat digunakan sebanyak dua kali proses punaran atau telah berlaku kekeruhan pada cecair aseton tersebut.

Untuk melekatkan bahan ZnO dengan gentian optik plastik yang telah dihakis tersebut, maka pada masa pembuatan cecair pelapis ditambahkan dengan cecair bahan fotoinisiator 1700 atau setara dengan (cecair irlacure 1700). Fotoinisiator cecair ini merupakan cecair serbaguna yang sangat cekap daripada radikal bebas serta pemula yang dapat memperbaiki warna dan lapisan bahan.

BAB III

PEMBANGUNAN SEMULA PENGESAN GENTIAN OPTIK FABRY – PEROT INTERFEROMETER (PGO – FPI)

3.1 PENDAHULUAN

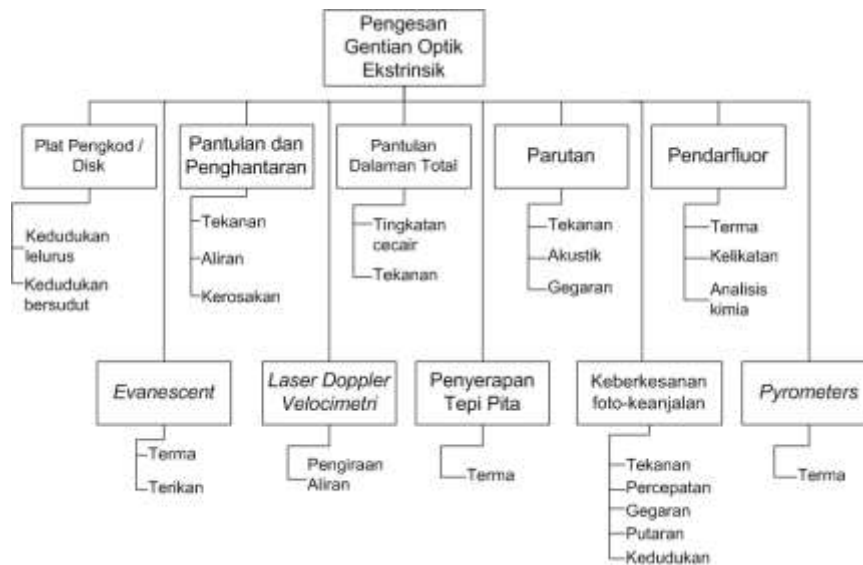
Bab ini membincangkan tentang pembangunan semula pengesan gentian optik Fabry – Perot interferometer (PGO – FPI). Asas pengesan gentian optik Fabry – Perot interferometer juga diterangkan dalam bahagian ini. Huraian tentang potensi PGO – FPI untuk digunakan sebagai pengesan juga akan diperjelaskan.

3.2 JENIS PENGESAN GENTIAN OPTIK – FABRY PEROT INTERFEROMETER

Terdapat beberapa jenis gentian optik yang telah dibangunkan seperti GO (gentian optik) infra merah, gentian optik kristal fotonik, GO sumber cahaya baru, GO diod pemancar cahaya bahan pepejal dan GO bahan pengesan. Selain itu teknologi baru berasaskan teknologi nano juga telah digunakan secara meluas dan mampu untuk dikembangkan menjadi pelbagai jenis pengesan baru seperti pengesan fizik, pengesan – bio dan pengesan – kimia (Wang et al. 1999; Morisawa et al. 2001; Ligler & Taitt 2002; Jasenek 2013).

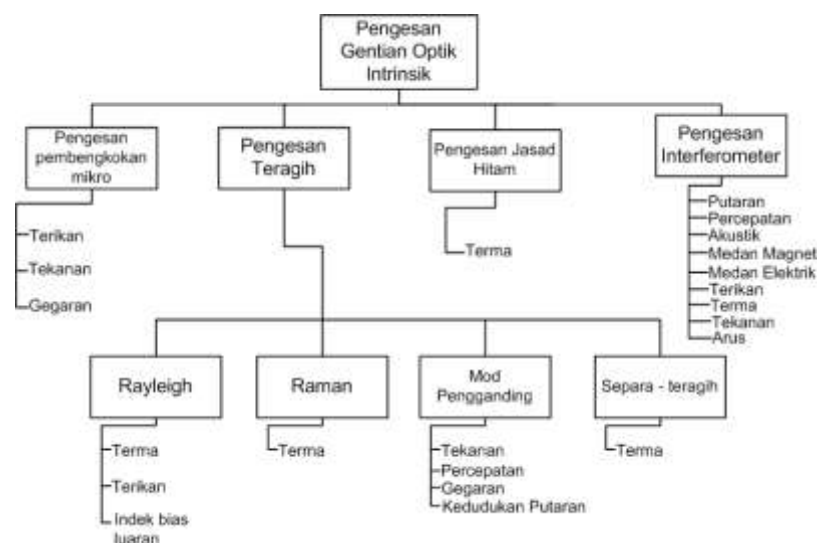
Rajah 3. 1 dan 3. 2 menunjukkan klasifikasi ringkas pengesan gentian optik, dimana secara asasnya ia dibahagikan kepada dua jenis iaitu Ekstrinsik dan Intrinsik. Pengesan gentian optik ekstrinsik bermaksud sifat pengesanan berlaku dikawasan luar gentian optik, manakala pengesan gentian optik intrinsik pula berlaku di dalam gentian optik. Selain itu, terdapat juga pengesan gentian optik hibrid yang serupa dengan ekstrinsik dan boleh dianggap sebagai “kotak hitam” kerana gentian optik digunakan untuk membawa cahaya dari keluaran menuju bahagian masukan.

Namun terdapat satu kelemahan yang akan timbul apabila kuasa pengesan cahaya menggunakan kuasa pengesan elektronik dan data yang dibawa ke bahagian keluaran melalui pautan data gentian optik. Kelemahan tersebut boleh diatasi dengan penetapan secara hibrid akan lebih sesuai dalam penggunaan pengesanan gentian optik.



Rajah 3.1 Pengkelasan Pengesan Gentian Optik Ekstrinsik (Jasenek 2013)

Rajah 3.2 menunjukkan gambaran ringkas kepelbagaian pengesan intrinsik atau pengesan yang menggunakan gentian optik. “Intrinsik” atau “seluruhnya menggunakan gentian optik” menunjukkan bahawa pengesanan yang berlaku di dalam gentian itu sendiri.



Rajah 3.2 Pengkelasan Pengesan Gentian Optik Intrinsik(Jasenek 2013)

Kedua – dua jenis pengesanan ini boleh digunakan secara silih berganti. Sebuah sub-kelas pengesan optik intrinsik atau pengesan yang semuanya menggunakan gentian optik interferometer serta banyak pengesan optik dengan prestasi tinggi berada pada kumpulan intrinsik. Jenis – jenis pengesan gentian optik yang ditunjukkan dalam rajah 3. 1 dan 3. 2 telah digunakan secara meluas pada masa ini.

3.3 TEORI ASAS INTERFEROMETER

Sebuah gelombang dilambangkan dengan E , dengan perambatan arah – z pada medium sekata, secara am terbentang sebagai fungsi sinusoid (Jasenek 2013),

$$E = E_0 \exp[j(\omega t - \phi + \theta_0)] \quad (3.1)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$, f adalah frekuensi, t adalah masa kitar, (ϕ) adalah fasa gelombang dan n adalah indeks bias bahan ke atas gelombang yang dirambatkan. Nombor gelombang k_0 juga dikatakan sebagai pemalar propagasi gelombang, jumlah ini ditakrifkan sebagai persamaan,

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (3.2)$$

dimana λ_0 adalah panjang gelombang dalam ruang bebas, x adalah jarak dimana gelombang dihantarkan dan θ_0 adalah sebuah pemalar bersimbol bentuk fasa gelombang. Amplitud gelombang adalah E_0 dan fasa optik adalah ϕ , dimana :

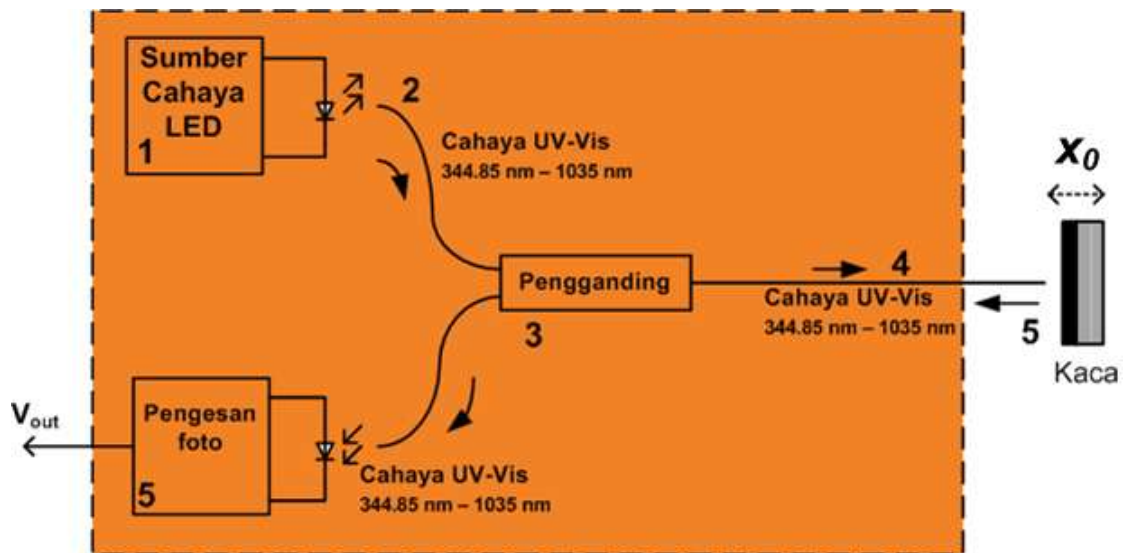
$$\phi = n_{eff} k_0 x + \theta_0 \quad (3.3)$$

Intensiti gelombang dilambangkan dengan I , maka

$$I = |E|^2 = E_0^2 \quad (3.4)$$

3.3.1 Fabry – Perot Interferometer

Dengan mempertimbangkan prinsip pengendalian kaedah gentian optik interferometer, ianya dapat menggunakan Fabry – Perot interferometer seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3. 3.



Rajah 3.3 Rancangan interferometer Fabry – Perot

Radiasi daripada sumber cahaya LED 1 digandingkan ke dalam gentian 2 dan masuk melalui pengganding 3 menuju gentian 4. Kemudian, salah satu bahagian radiasi dipantulkan dari bahagian muka akhir daripada gentian 4 menuju bahagian lain sebelum dipancarkan ke udara dan seterusnya dipantulkan melalui kaca 5 kemudian dikembalikan kedalam gentian 4. Cahaya optik dipantulkan dari muka akhir gentian 4 bercampur dengan cahaya pantulan daripada kaca. Akhir sekali, hasil intensiti radiasi optik pada pengesan foto 5 akan berubah secara berkala bergantung pada jarak x_0 antara gentian dan kaca dengan mengikut persamaan;

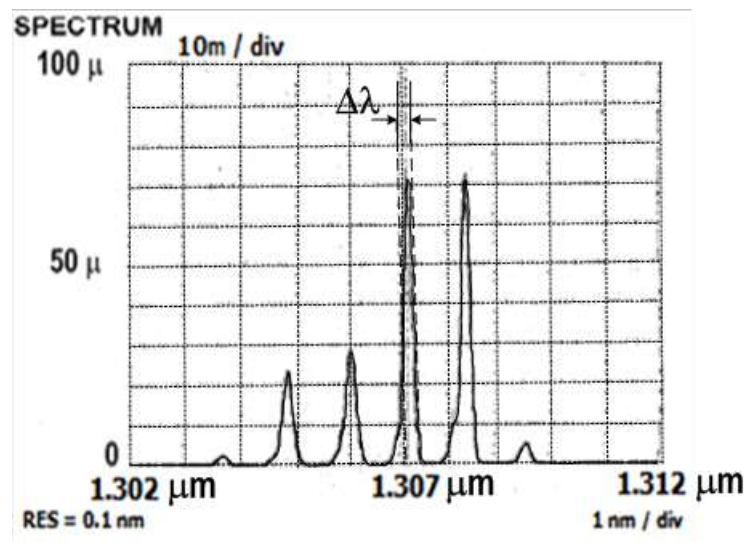
$$I = 2I_0 \left\{ 1 + \cos \left(n_{eff} \frac{4\pi}{\lambda} x_0 + \theta_0 \right) \right\} \quad (3.5)$$

Pada persamaan diatas, simbol x_0 dilambangkan sebagai sisihan gegaran. θ_0 sebagai simbol bentuk anjakan fasa. n_{eff} merupakan indek bias efektif bahan dan λ sebagai panjang gelombang sumber cahaya.

Peranjakan cermin sebesar separuh daripada panjang gelombang memberikan perubahan perbezaan panjang laluan dari pencampuran cahaya – cahaya sebesar 2π radian atau setanding dengan satu tempoh perubahan keamatan cahaya pada foto – pengesan. Sebaliknya radiasi cahaya optik tidak boleh menjadi monokromatik secara tepat, sehingga panjang koherensi cahaya menjadi terhad. Rajah 3.4 menunjukkan spektrum yang tipikal sinar laser semikonduktor.

Kita boleh lihat dalam Rajah 3.4 bahawa radiasi laser diod terdiri daripada empat mod dan total luasan spektrum yang sama ($\Delta\lambda$) sebesar 3 nm. Koherensi atau panjang kepaduan radiasi l_c boleh dituliskan seperti berikut,

$$l_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (3.6a)$$

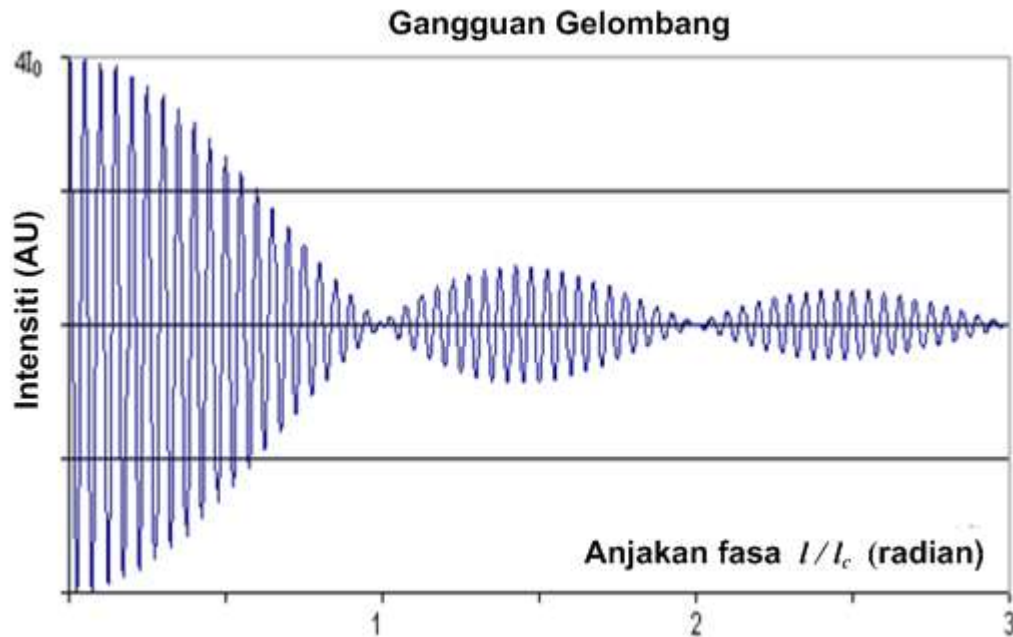


Rajah 3.4 Radiasi empat mod daripada laser diod

Dengan menggantikan persamaan (3.6a) parameter sinaran laser diod yang ditunjuk diatas, kita mendapati bahawa panjang kepaduan yang sama adalah $570 \mu\text{m}$. Perbezaan gangguan bergantung kepada lebar spektrum dan panjang kepaduan cahaya. Pembesaran daripada panjang-saliran gangguan sinar akan menurunkan penglihatan pola gangguan tersebut. Bila perbezaan kedua panjang-saliran mencapai panjang kepaduan, maka keterlihatan sama dengan 0. Persamaan keterlihatan

$$V (\text{visibility}) = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (3.6b)$$

Persamaan (3.6b) diatas, I_1 dan I_2 menunjukkan intensiti kedua gelombang serta apa-apa perbezaan antara kedua medan optik akan mengurangkan jarak keterlihatan daripada bentuk yang ideal. Dalam pengertian ini, jarak keterlihatan ialah ukuran kepaduan antara kedua bidang medan optik. Sebuah takrifan teori untuk hal keterlihatan ini diberikan dengan nilai darjah kepaduan.



Rajah 3.5 Keterlihatan dari pola gangguan dua sinar

Rajah 3.5 menunjukkan gangguan antara dua sinar dengan keamatan yang sama dengan panjang laluan cahaya (l) yang berbeza dibahagi dengan panjang kepaduan (l_c). Kebergantungan ini dinyatakan dengan persamaan (Anonim 2012):

$$I = 2I_0 \left\{ 1 + \frac{\sin \xi}{\xi} \cos \left(2n_{eff} \frac{l_c}{\lambda} \xi \right) \right\}, \quad \xi = \pi \left(\frac{l}{l_c} \right) \quad (3.7)$$

dimana I_0 adalah intensiti setiap gangguan sinar, λ adalah panjang gelombang, ξ adalah anjakan fasa dan n_{eff} adalah indeks bias efektif. Secara amnya, keamatan dari gangguan sinar boleh menjadi berbeza pada asasnya (contoh; di dalam sebuah interferometer gentian optik dimana intensiti sinar pantul dari mengenai hujung permukaan gentian dengan nilai magnitud lebih kecil daripada intensiti sinar pantul

dari cermin serta kembali semula ke dalam gentian). Di dalam kes ini 100% keamatan terhasil daripada gangguan tidak boleh dicapai walaupun perbezaan panjanglalan gangguan sinar sama dengan kosong atau sifar (Anonim 2012; Hecht 2015).

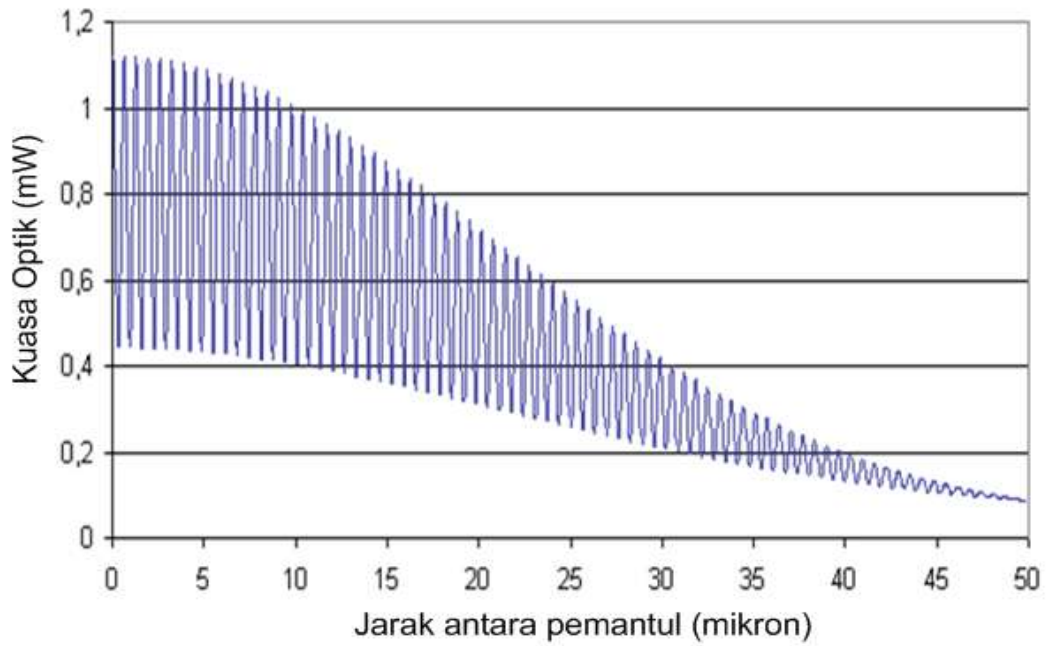
$$I = I_1 + I_2 + 2\gamma\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi \quad (3.8)$$

dimana ϕ adalah perbezaan fasa sinar gangguan, I_1 dan I_2 adalah intensiti kedua sinar yang datang manakala, γ adalah darjah kepaduan sinar. Di dalam interferometer gentian optik $I_1 = R_1 I_0$ adalah intensiti cahaya pantul daripada permukaan hujung gentian dan $I_2 = (1 - R_1)^2 R I_0$ adalah intensiti cahaya pantul dari sebuah cermin luar dan dikembalikan semula ke dalam gentian, dimana I_0 adalah intensiti daripada radiasi laser diod digandingkan ke dalam gentian, R_1 adalah pantulan dari hujung permukaan gentian manakala R adalah pantulan dari sebuah cermin luar. Untuk gentian kuarza $R_1 = 0.04$ merupakan pantulan Fresnel dari sempadan permukaan antara dua bahan gelas dengan indeks bias $n = 1.5$ manakala udara dengan indeks bias $n = 1$.

Intensiti cahaya yang dikesan oleh sebuah pengesan foto sesuai dengan Rajah 3.3 dapat kita hasilkan persamaan menggunakan persamaan (3.5) sehingga menjadi persamaan keamatan cahaya (Anonim 2012);

$$I = I_0 \left\{ R_1 + (1 - R_1)^2 R + 2(1 - R_1) \sqrt{R R_1} \frac{\sin \xi}{\xi} \cos \left(n_{eff} 4\pi \frac{x_0}{\lambda} + \theta_0 \right) \right\} \quad (3.9)$$

Pada bahagian anjakan fasa persamaan (3.9) diatas, simbol θ_0 dinyatakan sebagai anjakan awal fasa dengan unit radian. Secara am, kerana penyimpangan cahaya pada keluaran gentian, peratus radiasi pantul dari sebuah cermin luar dan dikembalikan semula ke dalam gentian bergantung ke atas jarak antara gentian dan cermin. Bentuk kebergantungan kuasa optik pada pengesan foto atas jarak antara gentian dan cermin luar dijelaskan pada Rajah 3.6.



Rajah 3.6 Graf kebergantungan kuasa optik terhadap jarak pantulan.

3.3.2 Kepekaan

Komponen fasa didalam persamaan (3.8) boleh diubah menjadi persamaan,

$$\Delta\phi = n_{eff} 4\pi \frac{x_0}{\lambda} \quad (3.10)$$

Persamaan (3.10) di atas menjelaskan sebuah perbezaan fasa kerana gangguan yang disebabkan oleh gas atau cecair kimia berdasarkan perubahan keadaan indeks bias efektif ini, pengesanan gentian optik akan dibuat (Goncalves et al. 2002).

Perubahan fasa boleh disebut sebagai sebuah parameter kepekaan pengesanan dengan bentuk persamaan,

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\partial(\Delta\phi)}{\partial n_x} = \frac{\partial \left(4\pi n_{eff} \frac{L}{\lambda} + \theta_0 \right)}{\partial n_x} \\ \eta &= \frac{\partial \left(4\pi n_{eff} \frac{L}{\lambda} \right)}{\partial n_x} + \frac{\partial(\theta_0)}{\partial n_x} \\ \eta &= \frac{\frac{4\pi}{\lambda} x_0 \partial(n_{eff})}{\partial n_x} + \frac{\frac{4\pi}{\lambda} n_{eff} \partial(L)}{\partial n_x} + \frac{\partial(\theta_0)}{\partial n_x} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Persamaan (3. 11) di atas hanya digunakan untuk mengira kawasan dan n_x ditakrifkan sebagai pengubahsuai indeks bias salutan, λ ialah panjang gelombang sumber cahaya, x_0 ialah sisihan gegaran, L ialah panjang kepala kuar serta θ_0 ialah anjakan fasa awal gelombang cahaya. Di dalam kes ubahsuai ini, panjang gelombang sumber cahaya bermula pada 400 nm sehingga 1100 nm. Bagi mendapatkan indeks bias efektif (n_{eff}) daripada gentian optik, ianya dapat dilaksanakan dengan menggunakan persamaan – persamaan pandu gelombang tidak simetri seperti,

$$\tan\left(\kappa \frac{h}{2}\right) - \frac{\gamma}{\kappa} = 0$$

$$\tan\left((k_0^2 n_1^2 - n_{eff}^2 k_0^2) \frac{h}{2}\right) - \frac{(n_{eff}^2 k_0^2 - k_0^2 n_x^2)}{(k_0^2 n_1^2 - n_{eff}^2 k_0^2)} = 0 \quad (3.12)$$

Daripada persamaan (3.11), nilai n_x yang bersifat pembolehubah akan menghasilkan nilai n_{eff} yang berbeza - beza. Oleh itu, nilai n_{eff} akan ditentukan secara numerik berdasarkan perubahan n_x .

Untuk bahagian ke-2 pada persamaan (3.11) ini bahawa nilai n_{eff} akan tetap berubah akibat daripada perubahan indeks salutan yang dimodifikasi pengaruh wap uji serta akan menghasilkan perubahan panjang (x_0) yang cukup ketara yang menyebabkan perubahan fasa. Begitupula untuk nilai simbol pemalar fasa awal (θ_0) dengan nilai yang sangat kecil dengan dari nilai perubahan indeks bias dan perubahan panjang.

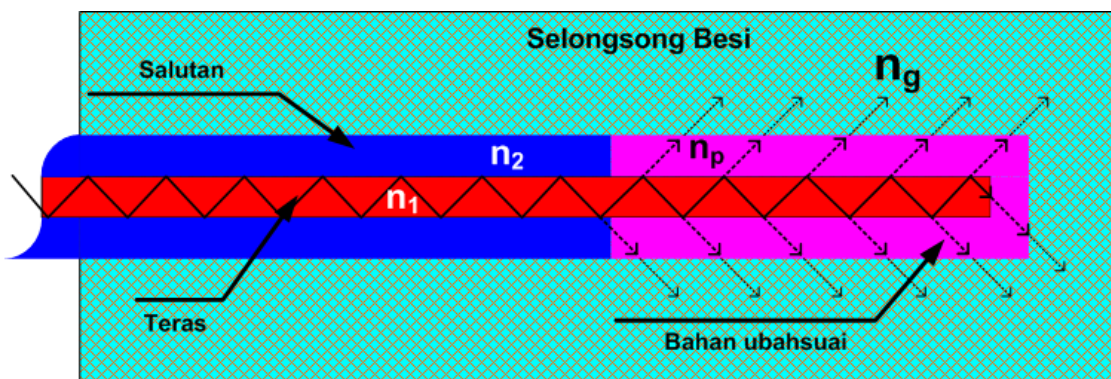
3.4 KEPALA KUAR

Berdasarkan Rajah 3.7, dapat diperhatikan proses pantulan cahaya yang datang terhadap dinding keluaran dari gentian optik. Kepala kuar akan beroperasi apabila terjadi perubahan indeks bias akibat daripada pengaruh luar. Berdasarkan rajah 3. 7 dapat dilihat secara terperinci bentuk pada bahagian hujung sensor. Proses ini akan mempengaruhi daya yang diterima pada pengesan foto kerana indeks bias bahan yang lebih kecil daripada indeks bias pelapis pada bahagian hujung gentian.

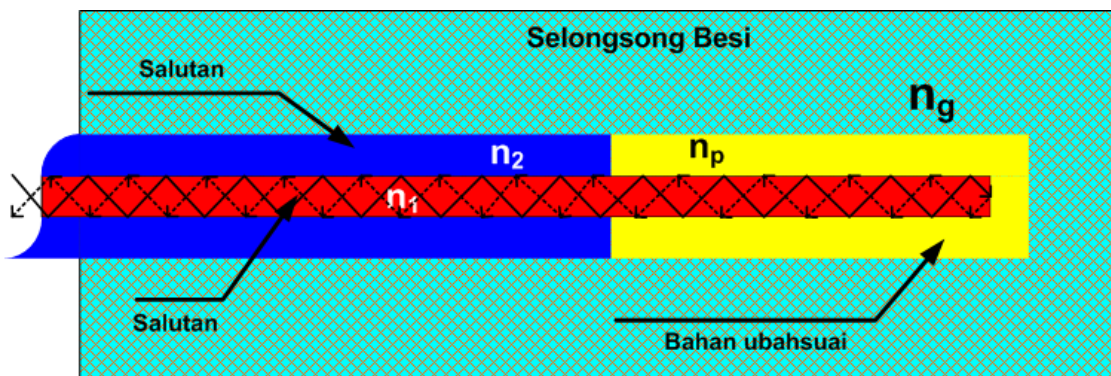


Rajah 3.7 Bentuk terperinci daripada hujung pengesan

Pada bahagian ini dapat dianalisis secara numerik bagi mendapatkan indeks bias efektif pada setiap perubahan indeks bias bahan ZnO(Anonim) akibat daripada pengaruh luar. Berdasarkan Rajah 3.8(a) menunjukkan bekas cahaya yang datang tidak dipantulkan kembali.



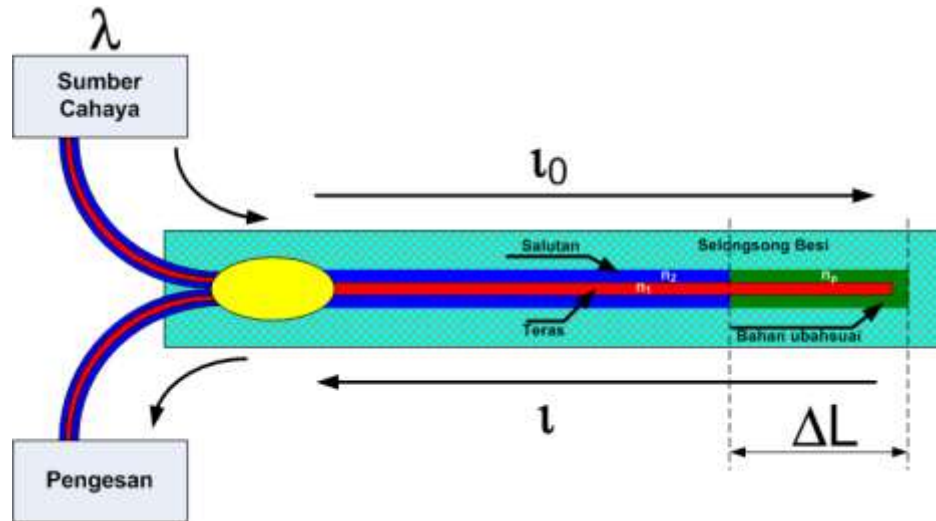
(a)



(b)

Rajah 3.8 Keadaan bekas cahaya yang masuk melalui kepala pengesan; (a).Keadaan indeks bias $n_p > n_2$ dan $n_1 = n_2$, (b). Keadaan indeks bias $n_p = n_2$ dan $n_1 > n_2$.

Berdasarkan rajah 3.8(b) memberikan maklumat bahawa cahaya tidak dapat keluar kerana telah berlakunya penurunan indeks bias. Keadaan penurunan ini akan menyebabkan gangguan yang disebut sebagai pola Pelbagai Sinar Interferometer.



Rajah 3.9 Bentuk perambatan cahaya pada kepala kuar

Berdasarkan rajah 3.8 dan 3.9 diatas, dapat dilihat bahawa cahaya yang masuk ke dalam kuar pengesan akan dipantulkan kembali pada keadaan hujung pengesan dengan memenuhi syarat,

$$n_p = n_2 \quad (3.13)$$

dan

$$n_1 = n_p \quad (3.14)$$

Persamaan 3.13 menyatakan keadaan awal bahawa indeks bias bahan ubahsuai (n_p) sama dengan indeks bias salutan (n_2) kuar gentian optik. Apabila adanya wap kimia yang mendedahkan kuar optik, maka keadaan tersebut dinyatakan dengan persamaan 3.14 dimana indeks bias teras (n_1) gentian optik sama dengan indeks bias bahan ubahsuai. Fungsi perbezaan anjakan fasa optik ($\Delta\phi$) diberikan untuk menghasilkan nilai intensiti transmisi cahaya yang diketahui,

$$i_t = i_0 \left(\frac{1}{1 + F \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)} \right) \quad (3.15)$$

dimana ϕ adalah kebantuan fasa gelombang cahaya pergi balik dan F adalah gelombang cahaya terbaik, yang menyifatkan kehalusan fasa peranti, di mana

$$F = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (3.16)$$

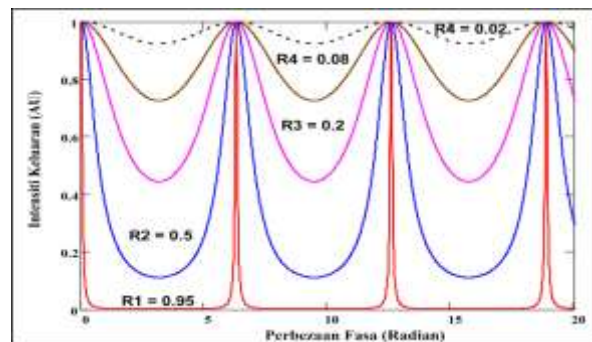
R ialah pantulan cermin dan pelemahan cahaya diabaikan. Untuk pembuktian dan penjelasan secara terperinci persamaan (3.15) dan (3.16) dapat dilihat pada lampiran – D. Pada perbezaan anjakan fasa yang ditunjukkan pada persamaan (3.15) akan ditentukan sesuai dengan perbezaan laluan optik (OPD). Perbezaan anjakan fasa tersebut dapat dituliskan seperti persamaan dibawah,

$$\Delta\phi = k_0 OPD = \frac{2\pi}{\lambda} n_{eff} \Delta L + \theta_0 \quad (3.17)$$

k_0 ialah nombor gelombang, λ sebagai nilai panjang gelombang, n_{eff} sebagai nilai indek bias efektif antara dua bahan yang berhubungan, serta θ_0 sebagai nilai anjakan fasa awal. Persamaan diatas dapat diturunkan persamaan perbezaan fasa berdasarkan pembolehubah $\delta\lambda$, $\delta\Delta L$ dan δn , maka

$$\delta\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda^2} OPD \delta\lambda + \frac{2\pi}{\lambda} n \delta(\Delta L) + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \delta n \quad (3.18)$$

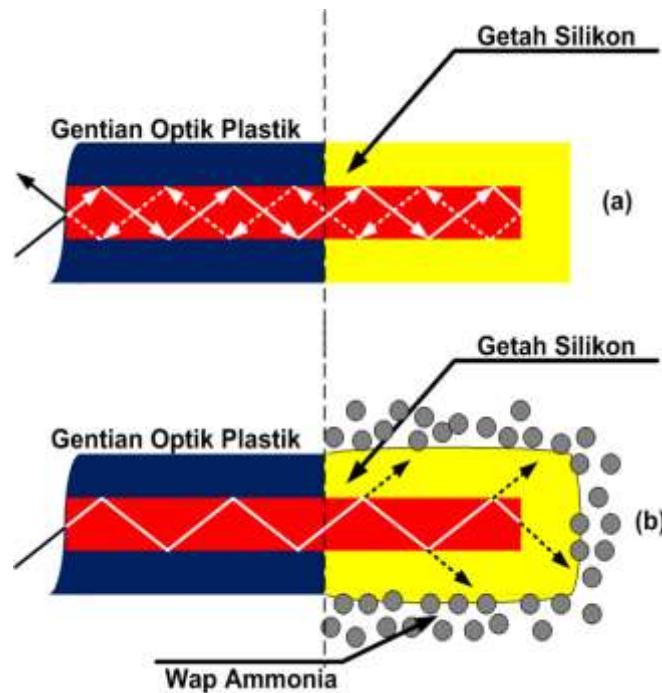
Dari persamaan (3. 15) dapat dilihat graf perbezaan fasa terhadap intensiti keluaran (i_t), seperti yang ditunjukkan pada rajah 3.10 dibawah.



Rajah 3.10 Fungsi perpindahan dalam penghantaran cahaya untuk sebuah interferometer fabry – perot interferometer

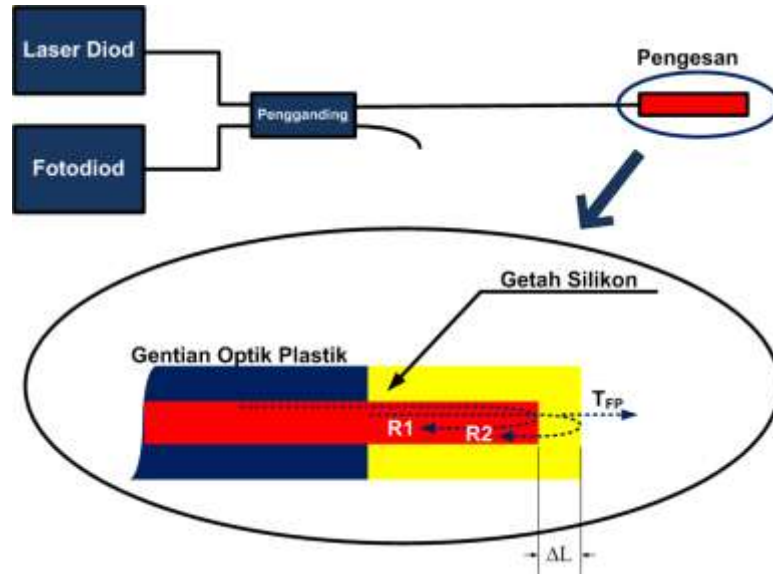
3.5 LITAR PERCUBAAN

Pada percubaan ujikaji pengesanan, salutan gentian optik pada kepala kuar diganti dengan bahan getah silikon (Green 2008). Bahan ini digunakan sebagai pengesan wap ammonia yang ada di dalam kebuk. Gambarajah sebuah pengesan dengan sebuah gentian optik tunggal dan sebuah pantulan cahaya atau diafragma ditunjukkan pada Rajah 3.11. Pengesan menggunakan gentian yang pelbagai, samada gentian tersebut berfungsi sebagai pembawa cahaya daripada Diod Pemancar Cahaya (LED) atau Laser Diod (LD) dan akan dipantulkan menuju *i-n* fotodiod atau *avalanche* fotodiod. Struktur ini juga dikenali sebagai Fabry-Perot interferometer ekstrinsik (FPIE). FPIE adalah sensor optik berdasarkan gabungan dua gelombang.



Rajah 3.11 Bentuk perubahan indeks bias pada pembengkakan salutan getahsilikon

Seperti ditunjukkan pada Rajah 3.12, sebuah FPIE terdiri dari sebuah gentian masukan, gentian keluaran dan gentian pemantul. Pengesan FPIE dapat dilambangkan sebagai interferometer dua gelombang cahaya. Secara prinsipnya, sinar cahaya akan diterima melalui kuar pengesan dan salah satu bahagian cahaya akan dipantulkan pada bahagian antaramuka gentian dan bahan lainnya.



Rajah 3.12 Litar percubaan Fabry-Perot Interferometer Ekstrinsik

Intensiti normalisasi penerima rongga Fabry-Perot dalam pantulan cahaya boleh ditakrifkan sebagai:

$$I_r = \frac{1 - \cos(\Delta\phi)}{1 + R^2 - 2R \cos(\Delta\phi)} \quad (3.19)$$

dimana R adalah kuasa pantulan antaramuka pada indeks bias salutan dan teras. Nilai awal R diberikan nilai kehalusan rongga ~ 0.035 . Penjelasan dan pembuktian persamaan (3.19) dijelaskan pada Lampiran – D. Maka intensiti keluaran pada penerima dapat diungkapkan sebagai:

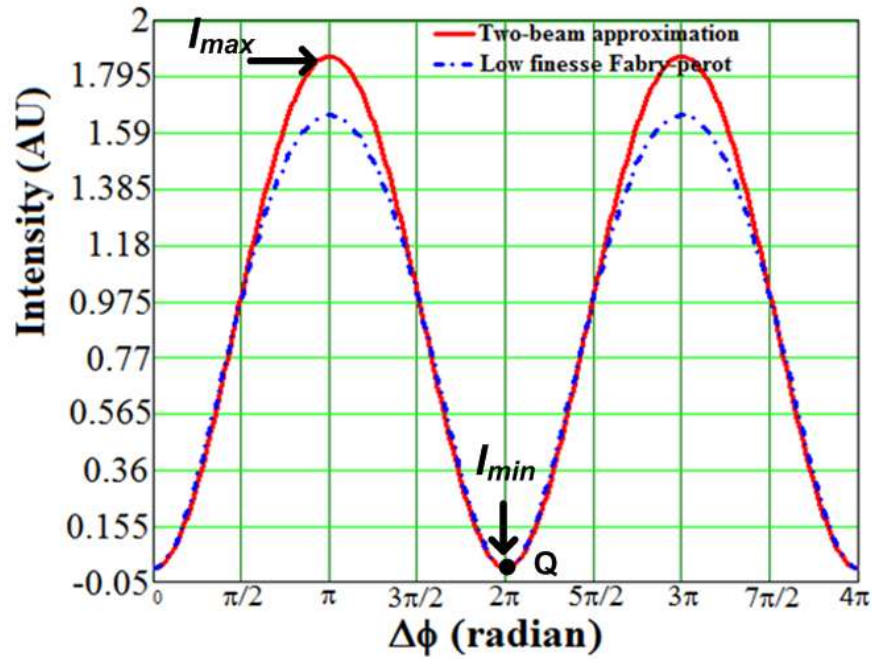
$$I_r \approx 1 - \cos(\Delta\phi) \quad (3.20)$$

Seperti yang ditunjukkan pada rajah 3.12, pendekatan ralat dalam menentukan perbezaan fasa ialah,

$$\Delta\phi = \frac{4\pi n_{clad} \Delta L}{\lambda} \quad (3.21)$$

Persamaan (3.19) dan (3.20) ditunjukkan untuk nilai perbezaan fasa daripada $\Delta\phi$, seperti yang ditunjukkan pada dalam rajah 3. 13.

Ralat maksimum dipengaruhi oleh perbezaan fasa pada $\Delta\phi = 2(m + 1/2)\pi$, dimana m adalah sebuah integer. Sementara ralat minimum terjadi di dalam julat $\pi/2$ pada titik-q.



Rajah 3.13 Interferometer FabryPerot dan pendekatan dua sinar

Dengan menggunakan persamaan (3.19), pantulan cahaya R dengan nisbah nilai kuasa pantulan dengan FPIE terhadap kuasa dapat ditakrifkan sebagai (Hecht 2015):

$$R_{EFPI} = \frac{r_1 + r_2 + 2\sqrt{r_1 r_2} \cos(\Delta\phi)}{1 + r_1 r_2 + 2\sqrt{r_1 r_2} \cos(\Delta\phi)} \quad (3.22)$$

Cahaya menembusi bahan pelapisan dengan cahaya hantaran (Hecht 2015),

$$T_{EFPI} = \frac{t_1 t_2}{1 + r_1 r_2 + 2\sqrt{r_1 r_2} \cos(\Delta\phi)} \quad (3.23)$$

Simbol r_1, r_2, t_1, t_2 disebut sebagai pekali pantulan dan pekali transmisi gelombang optik. Simbol $\Delta\phi$ melambangkan anjakan fasa daripada perambatan gelombang di dalam Fabry-Perot interferometer dan ianya dipengaruhi oleh indeks bias dan panjang

lajuan cahaya. Penjelasan dan pembuktian persamaan (3.22) dan persamaan (3.23) dapat dilihat pada bahagian lampiran – D.

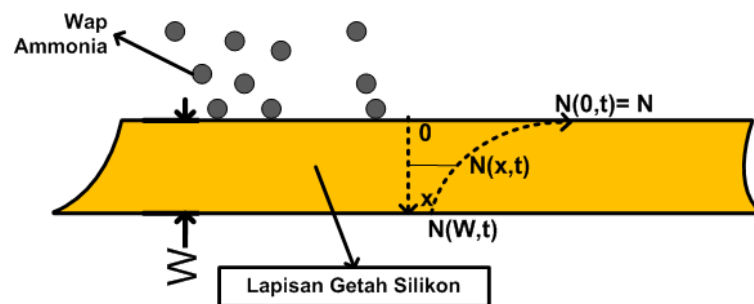
Di dalam kes pengesanan ini, panjang laluan berkadar dengan ketebalan lapisan salutan. Di dalam rajah 3.8, r_1 dan r_2 dapat dijelaskan daripada persamaan pengiraan:

$$r_1 = \left(\frac{n_{eff} - n_p}{n_{eff} + n_p} \right)^2 \quad (3.24)$$

dan

$$r_2 = \left(\frac{n_p - n_g}{n_p + n_g} \right)^2 \quad (3.25)$$

Sebuah indeks langkah GOP dengan bukaan berangka ialah 0.5 dan berat gentian ~4 gram/m digunakan sebagai kuar. Gentian optik terdiri daripada diameter teras daripada 920 μm hingga 1040 μm dan diameter salutan daripada 940 μm hingga 1060 μm , diperbuat dari bahan resin polymethyl methacrylate dan polimer fluorinate serta dilapiskan dengan jaket polyethylene (di mana jaket mempunyai diameter luar sebesar $2.2 \pm 0.7 \text{ mm}$). Gentian optik plastik tersebut diketahui bahawa indeks bias teras, salutan dan ammonia adalah 1.490, 1404 dan 1.0003749. Selain itu, gentian tersebut diberikan nilai kekuatan tegangan sebesar 70 Newton.



Rajah 3.14 Model perubahan indeks bias pada pembengkakan lapisan getah silikon

Berdasarkan Rajah 3.14 menunjukkan sebuah proses pembengkakan kuar kerana wap ammonia. Proses ini menunjukkan daripada lapisan awal (kosong) meningkat ke lapisan maksimum (W). Fungsi pembolehubah (t) diambil dari keadaan pembengkakan lapisan. Seperti ditunjukkan pada Rajah 3.14, persamaan untuk

kepekatan ammonia pada posisi $-x$ daripada permukaan salutan (Morisawa et al. 2001),

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial x^2} \quad (3.26)$$

Simbol D melambangkan pemalar difusi. Dengan andaian kepekatan wap pada keadaan awal daripada $N(x, 0) = 0$ dan $N(0, t) = N_0$, maka $N(x, t)$ dapat diungkapkan sebagai (Morisawa et al. 2001),

$$N(x, t) = N_0 \left(1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-\omega^2} d\omega \right) \quad (3.27)$$

Persamaan (3.27) dapat dihasilkan mengikut perubahan pada fungsi waktu pendedahan wap kimia dan ketebalan lapisan gentian optik. Dalam melakukan perubahan keadaan indeks bias, kita boleh menggunakan persamaan (3.26). Oleh itu, waktu pendedahan boleh diungkapkan sebagai;

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = \frac{DN_0 x e^{-\frac{x^2}{4Dt}}}{2\sqrt{\pi}(Dt)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.28)$$

dan

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial x} = \frac{N_0 e^{-\frac{x^2}{4Dt}}}{\sqrt{\pi}\sqrt{(Dt)}} \quad (3.29)$$

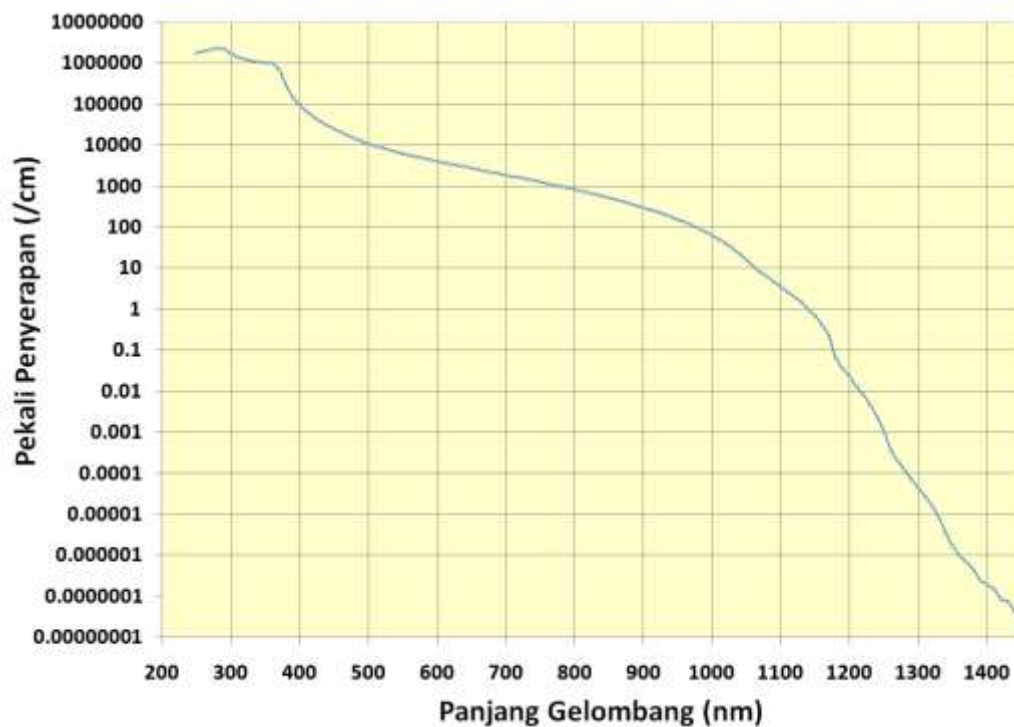
Penjelasan dan pembuktian persamaan (3.27), (3.28) dan persamaan (3.29) dapat dilihat pada bahagian lampiran – E. Silikon digunakan sebagai bahan pengesan optik yang diletakkan pada bahagian akhir kuar gentian optik. Lapisan silikon mempunyai penipisan yang sama dengan lapisan salutan. Berdasarkan parameter – parameter lapisan silikon adalah seperti berikut,

1. Panjang gelombang (λ) ialah 630 nm dan Indeks bias silikon (n) ialah 3.879.
2. Pekali penyerapan cahaya pada bahan silikon adalah 3191.5 ($1/cm$). Di mana cahaya pantulan dan penghantaran dengan mengabaikan penyerapan bahan pada silikon dapat ditakrifkan sebagai,

$$R_{EFPI} + T_{EFPI} = 1 \quad (3.30)$$

3. Indeks bias wap ammonia pada panjang gelombang 630 nm dan suhu ruang 273 Kelvin ialah 1.00037508 (Polyanskiy 2008).

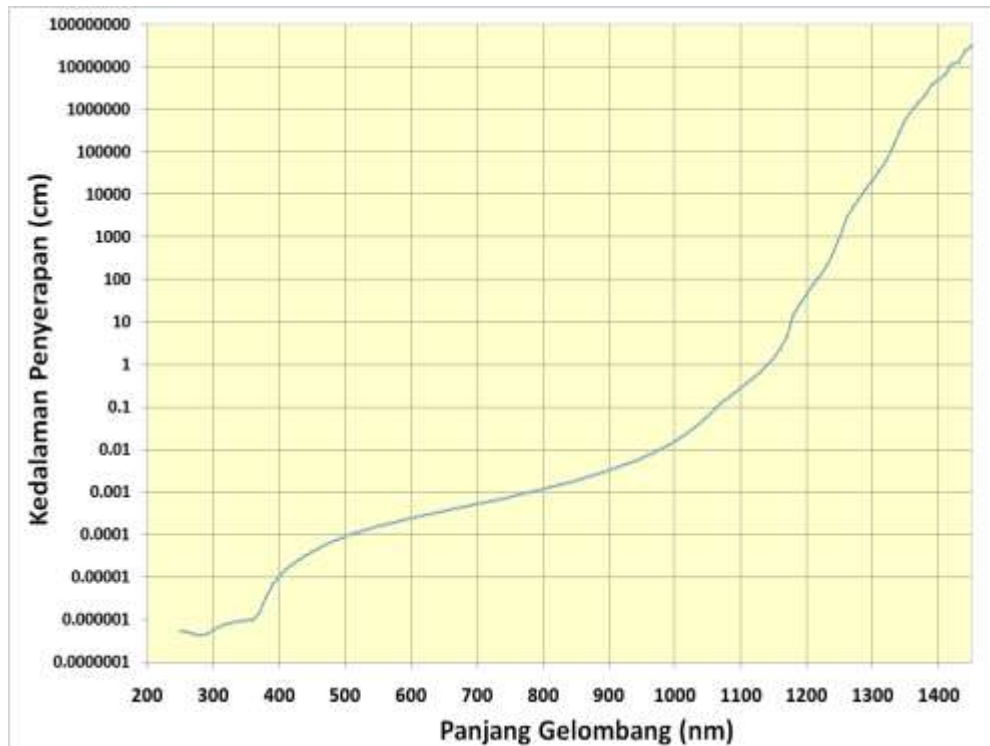
Rajah 3.15 menunjukkan penurunan arah haluan dalam pekali penyerapan. Panjang gelombang tertinggi akan menyebabkan pekali penyerapan rendah. Dalam kes pengesanan daripada panjang gelombang 630 nm, nilai penyerapan terendah daripada pengesanan gentian optik mempengaruhi waktu pengesanan disebabkan oleh kehadiran wap kimia. Satu penurunan yang tajam pada penyerapan cahaya terjadi pada panjang gelombang 1000 nm.



Rajah 3.15 Pekali penyerapan daripada bahan silikon

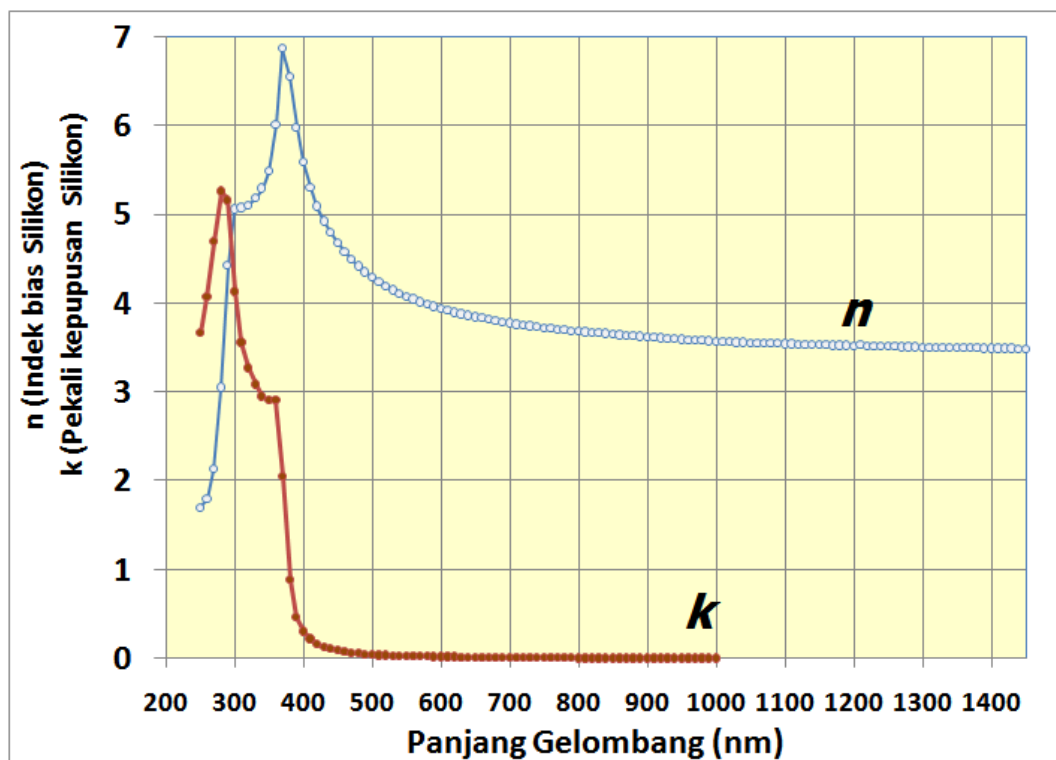
Pekali penyerapan silikon dalam $1/cm$ digunakan sebagai fungsi panjang gelombang. Silikon merupakan sebuah celah-pita semikonduktor yang mempunyai waktu tindak balas yang panjang di dalam perubahan indeks bias bahan. Kedalaman penyerapan daripada panjang gelombang dalam unit meter ditunjukkan pada rajah 3.16. Berdasarkan rajah ini, kedalaman penyerapan akan lebih besar apabila nilai panjang gelombang meningkat.

Kedalaman penyerapan ialah satu istilah yang digunakan untuk pereputan gelombang elektromagnetik didalam bahan. Kenaikan nilai keadaan kedalaman penyerapan ini disebabkan oleh nilai panjang gelombang semakin besar bermakna penembusan cahaya ke dalam sebuah bahan akan semakin besar.

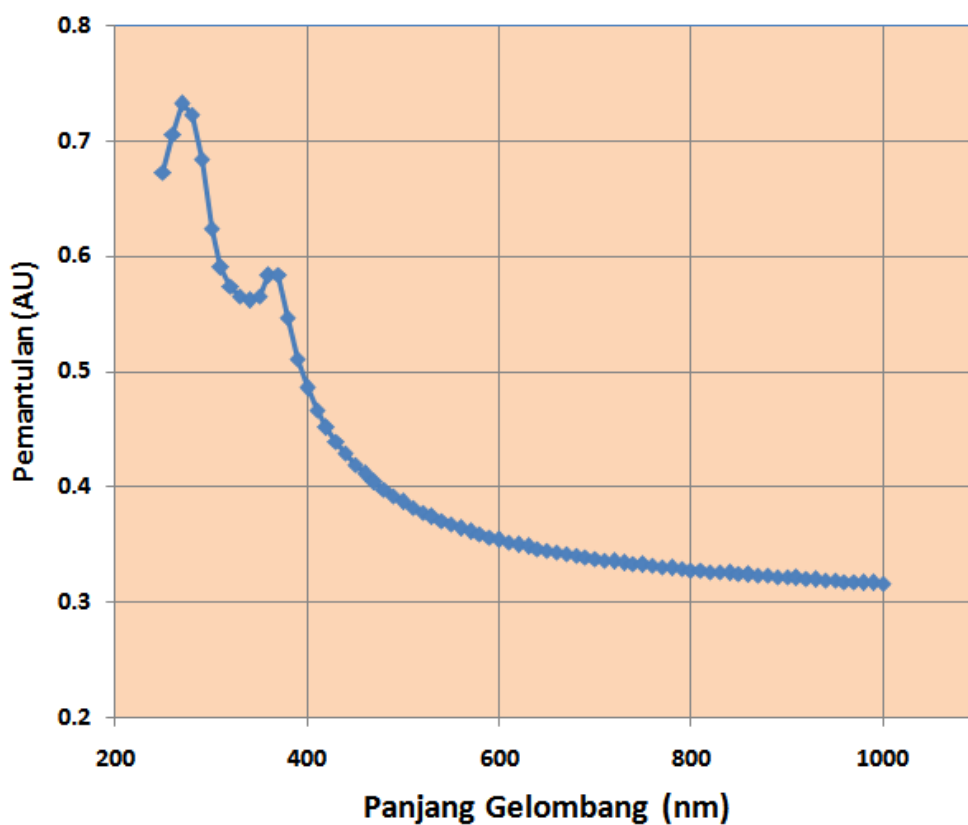


Rajah 3.16 Kedalaman penyerapan daripada bahan silikon

Penurunan penyerapan pada celah-pita semikonduktor (mendekati 1100 nm) dalam skala logaritma sangat tajam jika dibandingkan keadaan awalnya, seperti yang ditunjukkan pada rajah 3.15. Pada rajah 3.16 menunjukkan bahawa kedalaman penyerapan adalah berkadar songsang dengan pekali penyerapan. Sebagai contoh, 1 μm bermakna bahawa keamatan cahaya akan berkurang sebanyak 36% ($1/e$) daripada nilai awalnya. Disini kita melihat persamaan B – 2 Bouguer – Lambert – Beer pada Lampiran C memberikan pereputan secara eksponen.



Rajah 3.17 Perubahan indek bias silikon (n) dan pekali kepupusan (k) akan berubah sesuai dengan perubahan panjang gelombang yang diberikan



Rajah 3.18 Pemantulan daripada pengkilapan lapisan silikon

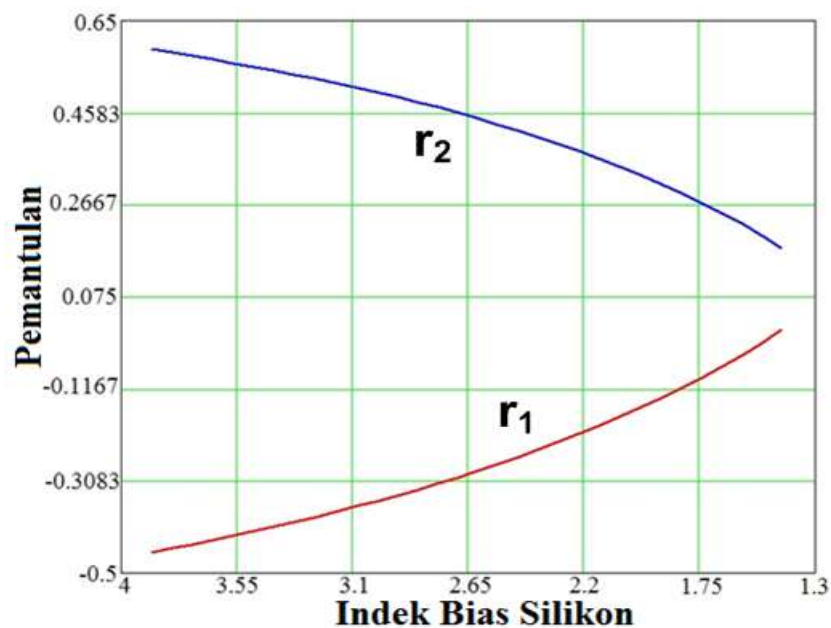
Rajah 3. 17 menunjukkan, n hasil nilai indeks bias komponen nyata dan menunjukkan kecepatan fasa, manakala komponen k khayal juga disebut sebagai pekali kepupusan walaupun ianya juga merujuk kepada pekali pelemahan massa jisim dan menunjukkan jumlah pelemahan intensiti gelombang optik merambat melalui sebuah bahan. Keadaan ini boleh ditemui serta mudah diambil kira dengan menentukan indeks biasan kompleks;

$$\bar{n} = n + ik \quad (3.31)$$

Rajah 3. 18 menunjukkan bahawa panjang gelombang daripada 270 nm sampai 370 nm akan mempengaruhi penurunan nilai pemantulan cahaya yang sangat cepat daripada 0.7321 AU sampai 0.5843 AU. Begitupula dengan penurunan pemantulan cahaya daripada 370 nm sehingga 1000 nm dengan nilai pemantulan sebesar 0.5843 AU turun menjadi 0.3162 AU.

3.6 PERBINCANGAN HASIL KAJIAN

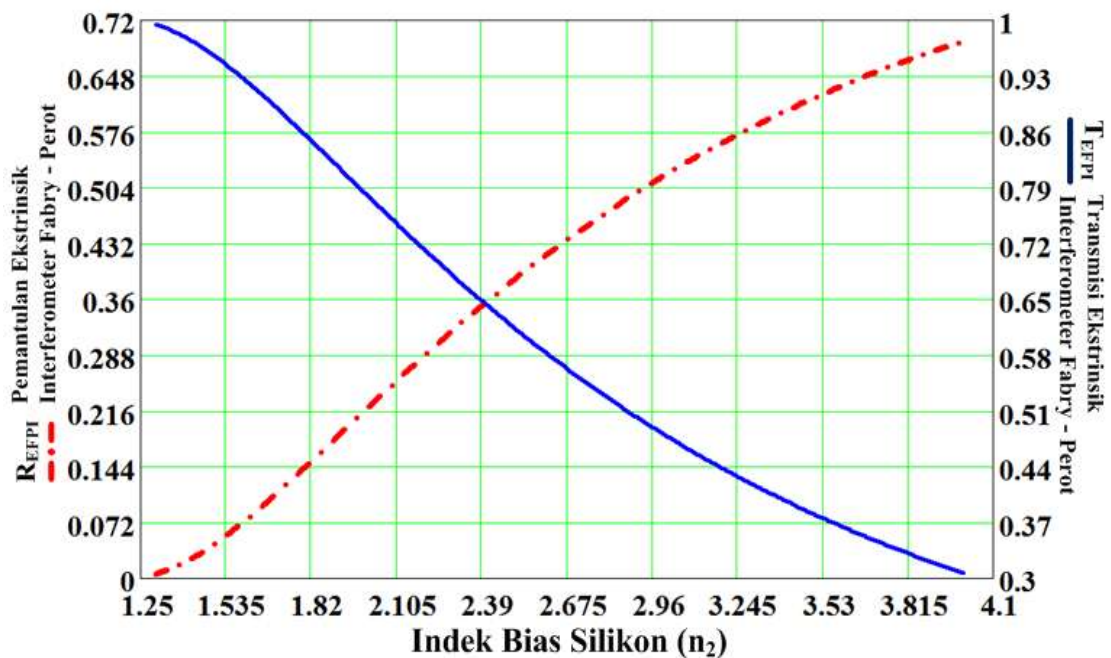
Rajah 3.19 menunjukkan pemantulan cahaya pada kuar gentian optik. Simbol r_1 melambangkan pemantulan cahaya diantara indeks bias teras dan salutan, sementara r_2 melambangkan pemantulan cahaya antara indeks salutan yang diubahsuai dan indeks bias wap ammonia.



Rajah 3.19 Pemantulan sinar cahaya terhadap perbezaan indeks bias bahan silikon

Dengan menggunakan persamaan (3.24), di dalam kes pemantulan cahaya daripada indeks bias efektif lebih besar berbanding indeks bias salutan yang diubahsuai atau getah silikon sehingga cahaya akan merambat di dalam gentian optik.

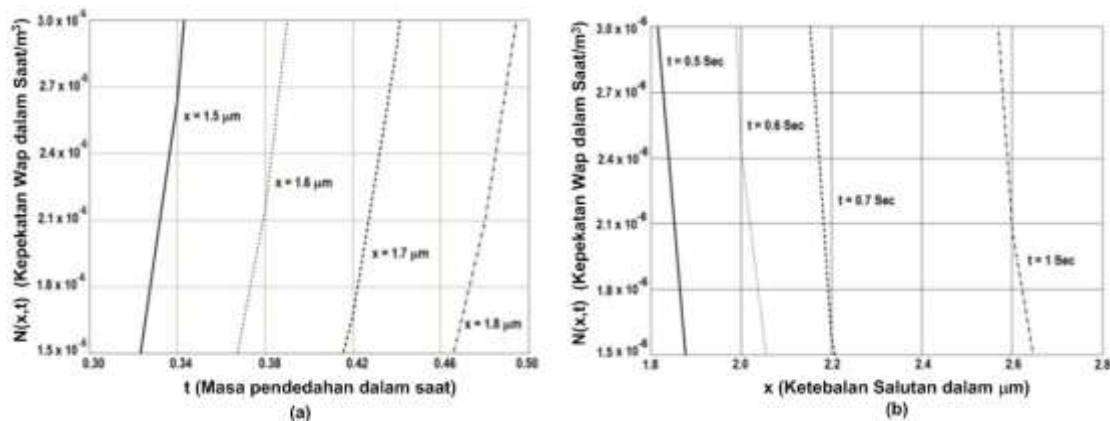
Pada keadaan lain, apabila indeks bias efektif sama dengan indeks bias salutan yang diubahsuai, perambatan cahaya di dalam gentian akan terjejas kerana penyebaran cahaya daripada teras gentian optik. Hasil penyebaran cahaya menghasilkan kuasa penghantaran optik yang rendah. Berdasarkan persamaan (3.24) dan (3.25), indeks bias wap kimia yang rendah akan menghasilkan nilai pemantulan cahaya yang tinggi. Rajah 3.19 menggambarkan pemantulan cahaya pada kuar gentian optik EFPI kerana perubahan indeks bias dan intensiti penerima ternormalisasi EFPI. Apabila indeks bias bahan silikon bernilai rendah, nilai pemantulan cahaya juga akan rendah. Pemantulan cahaya panjang gelombang (λ) 630 nm akan berlaku pada 0.678 AU, bila indeks bias silikon mencapai nilai (n_p) 3.8790 dan begitupula cahaya akan menembus melalui lapisan yang diubahsuai dengan nilai transmisi sebanyak 0.322 AU.



Rajah 3.20 Hasil penerima R_{EFPI} dan intensiti normalisasi penerima EFPI dengan perbezaan indeks bias silikon

Rajah 3.21 dan 3.22 menunjukkan bahawa jumlah kepekatan wap yang dapat dikesankan berdasarkan perubahan ketebalan lapisan daripada kuar gentian dan waktu

pendedahan wap ammonia. Rajah 3.21 menandakan empat garis graf dengan waktu pendedahan wap ammonia yang berbeza – beza ($t = 0.5, 0.6, 0.7$ dan 1 saat) serta ketebalan lapisan ($x = 1.5, 1.6, 1.7$ dan $1.8 \mu m$).

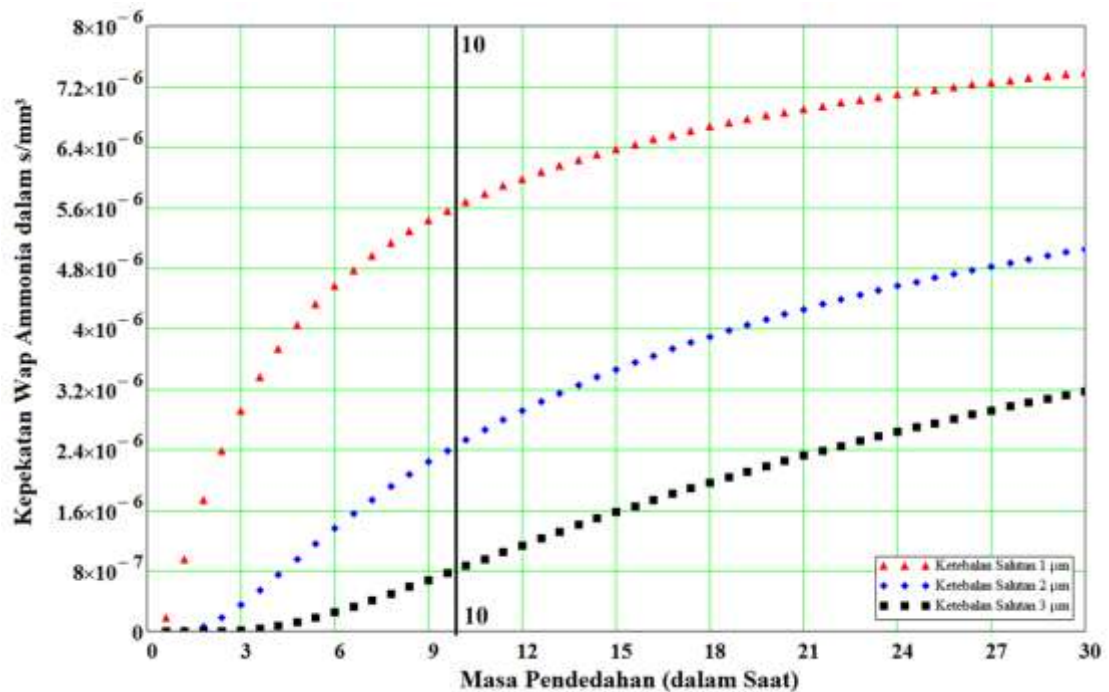


Rajah3.21 Fungsi kepekatan wap kimia; (a). Kepekatan wap ammonia berdasarkan pada waktu pendedahan wap ammonia. (b). Kepekatan wap ammonia berasaskan ketebalan salutan yang berbeza

Seperti ditunjukkan pada rajah 3.21(a), kepekatan wap ammonia akan meningkat jika wap kimia didedahkan kepada gentian optik dengan masa yang lama. Pada kenyataannya, graf-graf hanya menunjukkan maklumat perubahan kepekatan wap ammonia dengan masa yang singkat. Sebaliknya, seperti ditunjukkan pada rajah 3.21(b) apabila ketebalan kepala kuar besar maka jumlah kepekatan wap ammonia bernilai rendah pada setiap masa yang diberikan.

Rajah 3.22 dibawah ini menunjukkan pencirian kepekatan wap ammonia. Berdasarkan rajah tersebut, kepekatan wap ammonia yang berbeza dengan waktu tindak balas daripada 0 saat sehingga 30 saat untuk ketebalan lapisan yang berbeza, dimana $x = 1 \mu m, 2 \mu m$ dan $3 \mu m$.

Berdasarkan rajah 3.22, hasil menunjukkan bahawa kepekatan ammonia mencapai 3.3 saat/mm^2 sebaliknya ketiadaan proses pengesanan wap kimia. Julat 0 saat/mm^2 sehingga 3.3 saat/mm^2 dikenal pasti sebagai pita-mati dalam pengesanan wap kimia.



Rajah 3.22 Kepekatan wap ammonia berasaskan pada masa pendedahan yang panjang

3.7 KESIMPULAN

Bahan silikon dapat digunakan sebagai pengesan kimia kerana bahan kimia yang diletakkan sebagai lapisan penyalutan adalah sangat kenyal dan membuat ianya lebih mudah untuk merubah indeks bias. Pada rajah 3.22 terlihat bahawa persamaan garis untuk setiap ketebalan lapisan dapat dilihat pada jadual 3. 1 dibawah,

Jadual 3.1 Persamaan garis berasaskan ketebalan salutan		
No	Ketebalan Salutan (dalam µm)	Persamaan Garis Kepekatan
1	1	$y_1 = 0.00084828 \ln(x) + 0.00428796$
2	2	$y_2 = 0.00135491 \ln(x) + 0.00052074$
3	3	$y_3 = 0.00163930 \ln(x) - 0.00194812$

Hasil persamaan garis pada jadual 3. 1 akan dapat menentukan nilai tindak balas pengesanan wap kimia sesuai dengan julat masa pendedahan 0 saat sehingga 10 saat sesuai dengan Rajah 3. 22 diatas.

Nilai julat yang ditetapkan menghasilkan nilai kepekatan yang ditentukan dengan dengan persamaan garis daripada dua titik.

Jadual 3.2 Nilai tindak balas pengesanan pada waktu pendedahan 0 Saat sehingga 10 Saat

Ketebalan Salutan (dalam μm)	Waktu pendedahan (dalam unit Saat)	Kepekatan wap kimia Ammonia (dalam unit Saat/ m^3)	Persamaan Garis Lelurus	Tindakbalas η (dalam $1/\text{m}^3$)
1	$x_1=0.1$ $x_2=10$	$y_1=2.335 \cdot 10^{-3}$ $y_2=6.241 \cdot 10^{-3}$	$y=0.00434x+0.001901$	0.00434
2	$x_1=0.1$ $x_2=10$	$y_1=-1.66 \cdot 10^{-3}$ $y_2=3.641 \cdot 10^{-3}$	$y=5.3545 \cdot 10^{-4}x - 0.001713$	0.00053545
3	$x_1=0.1$ $x_2=10$	$y_1=-5.723 \cdot 10^{-3}$ $y_2=1.827 \cdot 10^{-3}$	$y=7.626 \cdot 10^{-4}x - 0.0058$	0.0007626

Hasil keputusan pada jadual 3. 2 menunjukkan bahawa semakin tebal salutan daripada bahan silikon akan menghasilkan nilai tindak balas yang sangat kecil, ataupun bermakna berlaku proses pemantulan cahaya.

Begitupula dengan wap kimia yang mempengaruhi indek bias silikon sebagai salutan kuar pengesan optik. Semakin tebal salutan pengesan maka proses perubahan indek bias menjadi semakin lama. Nilai tindakbalas ditentukan sesuai dengan persamaan $\eta = \frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = 0.00434$ setiap $1/\text{m}^3$ untuk penggunaan ketebalan salutan 1 μm , 0.00053545 setiap $1/\text{m}^3$ untuk ketebalan salutan 2 μm dan 0.0007626 setiap $1/\text{m}^3$ untuk ketebalan salutan 3 μm .

Berdasarkan struktur pengesan, gentian diluruskan dan menggunakan tekanan udara yang rendah di dalam bekas uji untuk meningkatkan kadar tindak balas pengukuran. Bekas uji perlu bebas daripada pencemaran reaksi wap ammonia untuk diuji. Paras perbezaan yang kecil akan berlaku sebagai tindak balas bagi tempoh yang panjang.

BAB IV

SIMULASI KUAR PENGESAN GENTIAN OPTIK (PGO)

4.1 PENDAHULUAN

Simulasi kuar pengesan optik secara am digunakan dalam reka bentuk dan analisis produk kejuruteraan. Pada kes PGO ini, simulasi yang telah di kembangkan penggunaannya sebagai alat untuk memahami bagaimana tindak balas pengesan dengan pelbagai isyarat masukan. Sebuah model bahagian pengesanan terhadap daripada pengesan dibentuk dengan COMSOL untuk menganalisis tindak balas fasa kerana perubahan indeks bias salutan yang dibentuk menggunakan bahan ZnO dan pengujian kes pengesanan wap kimia digunakan untuk prosedur permodelan.

Oleh kerana sifat kompleks aliran disekeliling pengesan dan model alam sekitar pengesan telah diwujudkan pada COMSOL. Maklumat dari model COMSOL mengenai sinar pantul, sinar yang diserap dan sinar penghantaran telah digunakan sebagai masukan bagi model tersebut untuk meramalkan tindak balas perbezaan fasa dalam pengesanan. Dalam bab ini, simulasi pengesan gentian optik (PGO) akan dibincangkan di sertai dengan analisis setiap medan elektrik dan medan magnetik sesuai dengan keadaan fizik pandu gelombang silinder.

4.2 KAJIAN KEPUSTAKAAN

Simulasi kuar optik telah di kembangkan dengan menggunakan perisian – perisian yang menjelaskan sifat –sifat atau pencirian daripada cahaya dengan pelbagai panjang gelombang. Pencirian dapat dilihat dari nilai intensiti yang keluar daripada gentian atau salutan gentian optik plastik. Keadaan gelombang optik akan keluar dan menunjukkan perubahan daripada medan elektrik komponen E_x dan E_y .

Keadaan kedua komponen ini selalunya saling bertegak lurus serta bergerak menuju komponen E_z . Dalam pemanduan gelombang optik pada gentian optik plastik menggunakan kaedah pemanduan koordinat silinder sehingga paksi komponen yang ada pada pemanduan ini ialah r , ϕ , z .

Perbincangan pada bab ini hanya menjelaskan keadaan mod perambatan gelombang optik iaitu Mod Elektrik Melintang (*TE Mode*). Keadaan ini perambatan gelombang optik dilihat dalam tiga keadaan pengaruh wap kimia yang berbeza, wap ethanol, wap aseton dan wap Methanol.

Penggunaan perisian COMSOL hanya menampakkan keadaan penggunaan menggunakan kaedah koordinat segiempat. Kaedah koordinat ini akan diubah kedalam koordinat silinder sesuai dengan keadaan fizikal gentian optik plastik. Penjelasan secara terperinci pada perisian ini memberikan maklumat bentuk keadaan graf permukaan dalam bentuk warna serta membincangkan keadaan gelombang optik menggunakan pola pertautan (*Meshing*). Pola pertautan ini merupakan salah satu bahagian daripada kaedah elemen hingga untuk melihat keadaan intensiti pada kawasan luasan khas sahaja.

Perisian COMSOL menghasilkan pengiraan berasaskan paksi x , y dan z sehingga perlu memahami keadaan gelombang optik untuk paksi r , ϕ , z . Penyurihan cahaya sepanjang kuar gentian optik plastik hanya dibincangkan dalam bentuk pengiraan daripada perisian COMSOL.

Matlamat simulasi ini ialah untuk membantu kefahaman dalam pergerakan gelombang optik sesuai panjang gelombang yang diberikan pada permulaan simulasi ini. Bentuk – bentuk kefahaman dilihat daripada hasil yang dikirakan dari perisian ini dalam bentuk besarnya intensiti yang diperolehi. Nilai – nilai intensiti yang dihasilkan merupakan nilai intensiti ternormalisasi atau nilai intensiti yang dibahagi dengan nilai intensiti tertinggi.

4.3 REKA BENTUK MODEL SIMULASI KUAR GENTIAN OPTIK

Reka bentuk kuar yang dibuat berbentuk kuar lurus yang akan digunakan sebagai kepala pengesan wap kimia mahupun tekanan udara. Seperti yang ditunjukkan pada rajah 4.6 dibawah. Pada Rajah 4.6(a) menggambarkan reka bentuk kuar bahagian keseluruhan, (b) menggambarkan kuar bahagian bawah dan (c) kuar bahagian atas.

Pada Rajah 4.6 ini menerangkan simulasi proses pengesanan di dalam sebuah kebuk. Simulasi pengesanan dilakukan dengan perubahan nilai perubahan tekanan di dalam kebuk dan perubahan indeks bias wap kimia yang dimasukkan kedalam kebuk.

4.3.1 Parameter – parameter reka bentuk simulasi

Nilai pembolehubah masukan simulasi.

1. Nilai pembolehubah ini terdiri daripada beberapa bahagian iaitu,
 - a. Saiz garis pusat kuar. Saiz ini diperolehi daripada hasil penghakisan yang dilakukan menggunakan cecair acetone.
 - b. Panjang kuar. Nilai ini ditakrifkan sebagai panjang kawasan yang digunakan sebagai pengesan. Kawasan ini terletak pada bahagian salutan yang terubahsuai untuk digantikan dengan lapisan ZnO.
 - c. Isipadu bahan cecair pelekat (*primary adhesion*). Cecair ini merupakan bahan kimia sebagai bahan pelekat antara ZnO terhadap teras gentian optik plastik.
 - d. Saiz tekanan di dalam kebuk dalam unit mBar.
 - e. Isipadu wap kimia untuk cecair Aseton, Ethanol dan Methanol.
2. Nilai Intensiti keluaran simulasi

Nilai intensiti keluaran ini diperolehi dari pengaruh masukan yang diberikan kedalam kebuk.

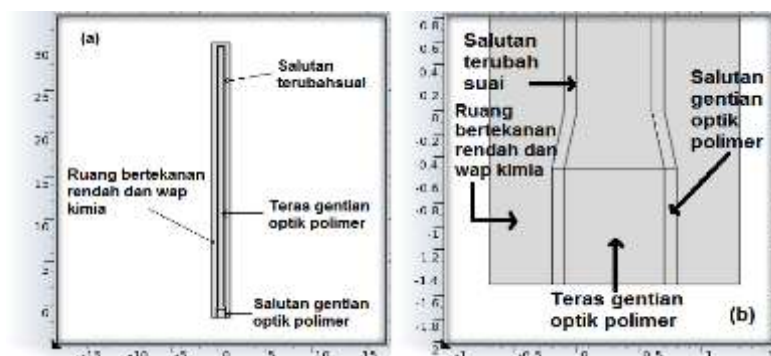
3. Sensitiviti atau kepekaan pengesanan

Nilai sensitiviti atau kepekaan pengesanan boleh dipengaruhi oleh pengaruh luar yang akan mengakibatkan perubahan nilai intensiti keluaran yang diperolehi. Nilai sensitiviti ini akan diperolehi :

- a. Masa Naik Pengukuran (*Rise Time Measurement*). Nilai ini ditakrifkan sebagai perubahan kenaikan intensiti ketika terjadi pengaruh persekitaran atau pemberian wap kimia terhadap pengesanan.
- b. Masa Turun Pengukuran (*Falling Time Measurement*). Nilai ini ditakrifkan sebagai perubahan penurunan intensiti ketika terjadi pengaruh persekitaran atau pemberian wap kimia terhadap pengesanan.

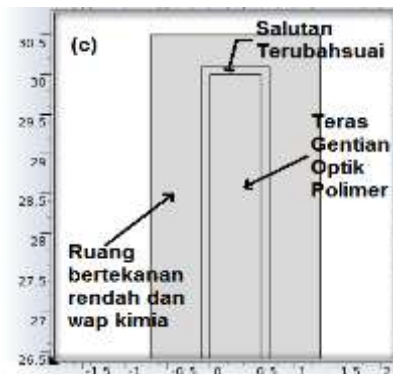
4.3.2 Untuk syarat – syarat kepekaan pengesanan yang harus dipenuhi

- a. Nilai isipadu wap kimia terkecil yang dapat dikesankan dengan unit % cecair.
- b. Nilai tekanan udara di dalam kebuk pengesanan dengan unit mbar.
- c. Nilai Waktu Tindak Balas pengesanan terkecil yang dapat dikesankan oleh sebuah kuar optik.
- d. Nilai Waktu Pelepasan dalam pengesanan terkecil yang dapat dilakukan untuk kembali pada keadaan semula.



bersambung...

...sambungan



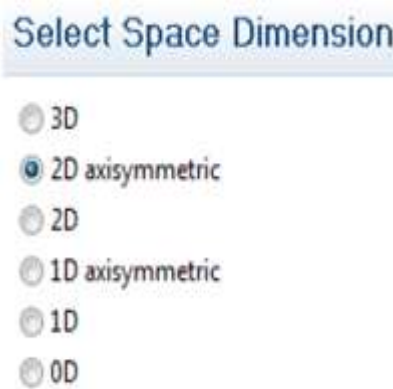
Rajah 4.1 Reka bentuk kuar optik dengan salutan yang terubahsuai, (a). Kuar optik dalam tampak keseluruhan, (b). Kuar optik bahagian bawah, (c). Kuar optik bahagian atas

4.4 SIMULASI PENGESAN GENTIAN OPTIK

Di dalam simulasi ini, ada lima parameter yang perlu diperhatikan untuk melakukan proses simulasi serta mendapatkan data simulasi, iaitu

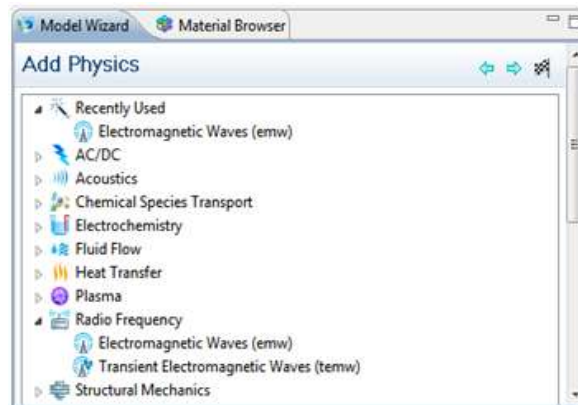
4.4.1 Permulaan COMSOL

Kita akan perlu memulakan satu model baru sama ada akan memulakan semula COMSOL atau dengan klik “Baru” dalam menu “File”. Kita akan memilih “2D Axisymmetric” dan bukan sekadar 2D seperti ditunjukkan pada Rajah 4. 2. Hal ini akan mengambil apa sahaja geometri yang dibuat dan ianya akan berputar paksi dan sesuai untuk permasalahan dengan simetri satu paksi sahaja.



Rajah 4.2 Tampilan pemilihan saiz ruang

Kemudian kita akan memilih model fisik “Frekuensi Radio” dan gelombang elektromagnetik fana (terlihat pada Rajah 4. 3) untuk fisik tambahan sebagai kajian kita.

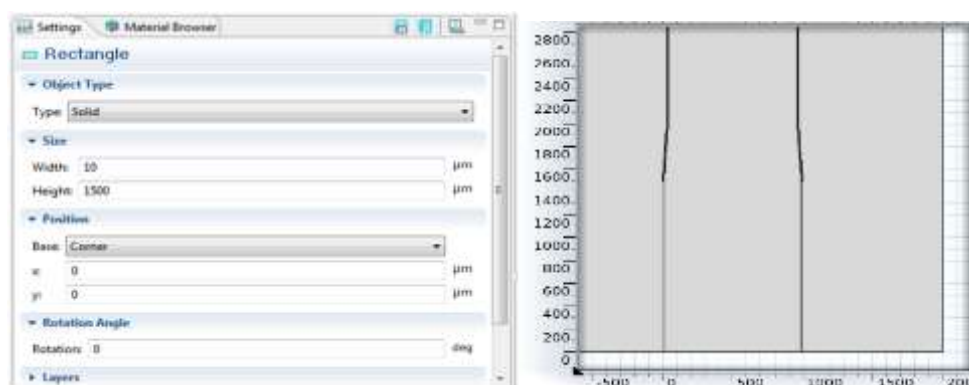


Rajah 4.3 Tampilan fisik tambahan

4.4.2 Geometri

Sekarang kita akan mewujudkan geometri bahan, ini merupakan suatu perbezaan terbesar wujud antara model simulasi dan model sebenar.

1. Klik kanan geometri dan menambahkan segi empat tepat.
2. Ada sudut diletakkan di $x = 0 \mu\text{m}$ dan $y = 0 \mu\text{m}$. Perhatikan bahawa geometri kita akan diputar disekeliling garis $r = 0 \mu\text{m}$.
3. Klik “Membina semua” dan kita akan mendapat keputusan seperti ditunjukkan pada Rajah 4. 4 ini.

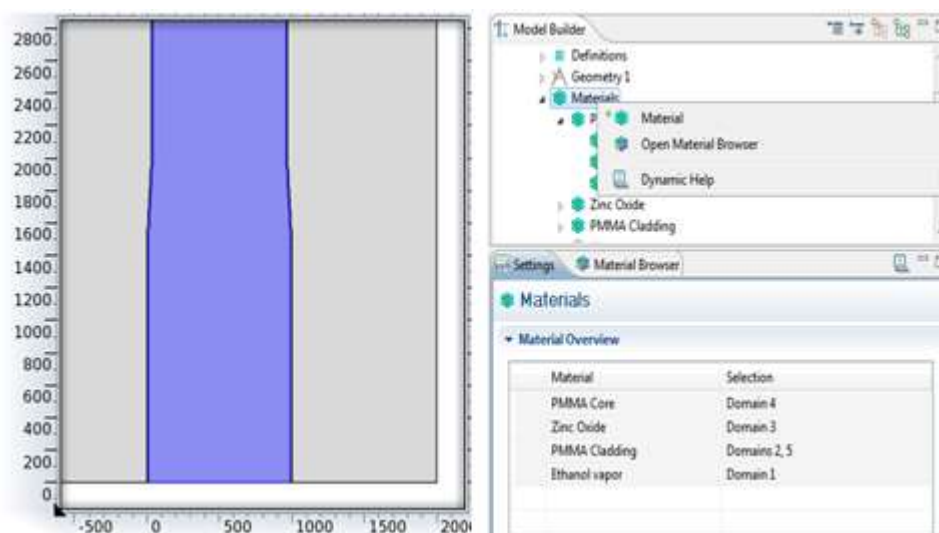


Rajah 4.4 Tampilan pengaturan geometri bahagian kiri dan keputusan geometri bahagian kanan

Begitu juga dengan geometri yang lain dalam menghasilkan sebuah model kuar yang diinginkan. Bentuk model yang dibuat harus disesuaikan dengan ukuran yang sebenarnya dan unit yang digunakan ialah μm .

4.4.3 Bahan – Bahan

Pemilihan bahan PMMA pada bahagian teras dipilih pada geometri seperti sebelum ini. Hasil keputusan pemilihan bahan untuk PMMA untuk teras dapat dilihat pada rajah 4. 5 dibawah ini. Pemilihan dilakukan secara manual sesuai dengan pemilihan domain. Pada rajah 4. 6 ini memberikan keputusan bahawa domain yang ditunjukkan sesuai pemilihan merupakan domain – 4.



Rajah 4.5 Pemilihan model bahan bahagian kiri harus disesuaikan dengan domain yang dibuat pada bahagian kanan

Cara ini dilakukan semula untuk bahan lain yang disesuaikan dengan domain gambar rancangan. Setiap domain mempunyai sifat – sifat bahan atau pencirian asas bahan, pencirian kimia, model elektromagnetik dan lainnya.



Rajah 4.6 Pemilihan jumlah geometri bahan dan sifat – sifatnya

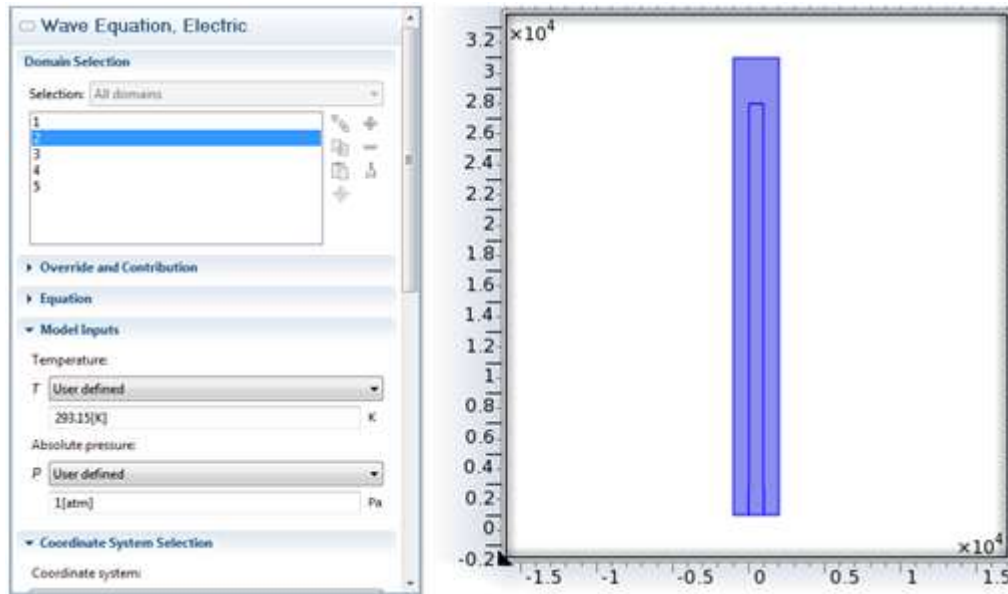
4.4.4 Pemilihan Modul

Modul antaramuka gelombang elektromagnetik ialah fizik antaramuka untuk permodelan domain frekuensi daripada gelombang elektromagnetik. Antaramuka fizik gelombang ini menyokong jenis – jenis kajian domain frekuensi, Frekuensi Eigen, Mod Analisis dan Analisis Mod Sempadan. Kajian domain frekuensi digunakan untuk sumber cahaya yang dipandu dengan simulasi untuk frekuensi tunggal atau frekuensi jujukan. Jenis kajian frekuensi Eigen digunakan untuk menentukan frekuensi resonans dan mod Eigen yang berkaitan.

Jenis kajian analisis mod terpakai untuk keratan rentas 2D daripada pandu gelombang dan talian penghantaran dimana ianya digunakan untuk mencari mod perambatan yang dibenarkan. Analisis mod sempadan digunakan untuk bentuk yang sama dalam 3D dan terpakai untuk sempadan – sempadan mewakili penghubung pandu gelombang. Hanya varian medan elektrik daripada persamaan masa harmonik yang disokong.

a. Persamaan Gelombang Elektrik

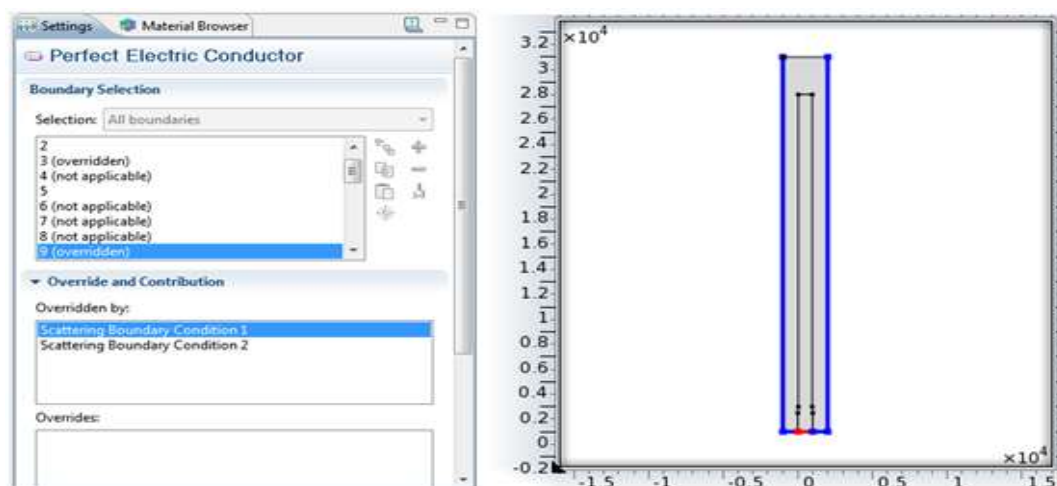
Persamaan gelombang nod elektrik memberikan sebuah antaramuka untuk mentakrifkan sifat – sifat kumpulan untuk simulasi domain frekuensi daripada gelombang elektromagnet, seperti yang ditunjukkan pada Rajah 4. 7.



Rajah 4.7 Modul Gelombang Elektromagnet untuk pemilihan domain pada persamaan gelombang elektrik (bahagian kiri) dan hasil keputusan domain (bahagian kanan)

b. Pengalir Elektrik Sempurna

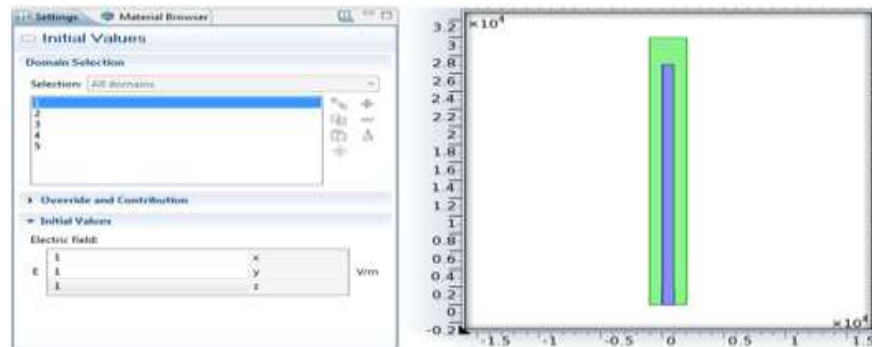
Kegunaan nod pengalir elektrik sempurna ialah untuk menentukan pengalir elektrik yang sempurna. Ia merupakan satu syarat sempadan asimetri untuk medan elektrik dan arus elektrik tetapi menggunakan asimetri untuk medan magnet dan arus. Bentuk pengalir elektrik sempurna boleh didapati pada bahagian tepi, seperti terlihat pada rajah 4.8.



Rajah 4.8 Pemilihan pengalir elektrik sempurna (bahagian kiri) dan hasil keputusan pengalir elektrik dengan hamburan syarat sempadan

c. Nilai Awal

Nilai awal ialah nod awal yang membolehkan untuk menentukan nilai – nilai awal medan elektrik yang akan diselesaikan. Terlihat pada rajah 4. 9, pemilihan nilai nod berdasarkan kawasan atau domain, serta nilai awal medan elektrik disesuaikan dengan paksi X, Y dan Z.



Rajah 4.9 Nilai awal untuk medan elektrik (bahagian kiri) dan hasil keputusan pemilihan domain dan nilai medan elektrik

d. Syarat Sempadan Hamburan

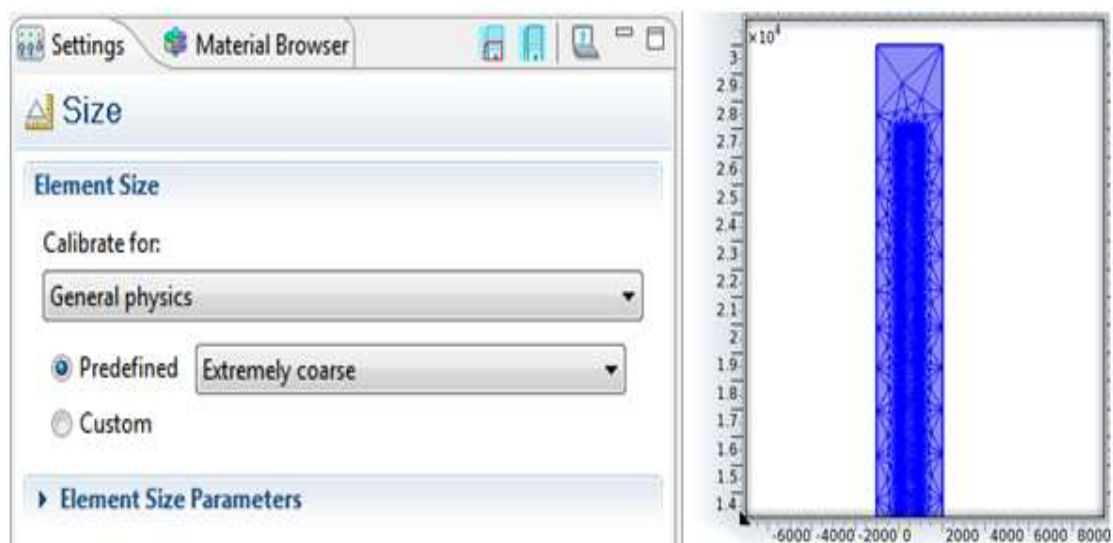
Nod penyerakan syarat sempadan terpakai untuk sempadan luar. Pada rajah 4. 10 menunjukkan pemilihan syarat sempadan dengan pemilihan domain sebagai kawasan tempat perambatan gelombang optik. Tujuan pemilihan keadaan ini menjadi dua kali ganda. Pertama, ianya adalah satu keadaan sempadan hanya menyerap jenis gelombang yang telah ditetapkan. Kedua, ianya boleh melancarkan gelombang masuk, sebuah satah gelombang.



Rajah 4.10 Hamburan keadaan sempadan dengan pemilihan domain sempadan (bahagian kiri) dan hasil keputusan hamburan disertai dengan tanda hijau sebagai masukan gelombang (bahagian kanan)

4.4.5 Pertautan (*Mesh*)

Sebelum melakukan pengambilan data analisis, tahap yang perlu dilakukan ialah pertautan atau secara am dikenal sebagai diskrit bermakna sejumlah berhingga elemen segitiga yang berbeza – beza saiz, bentuk dan jenisnya. Pemilihan jenis elemen segitiga yang ditunjukkan pada Rajah 4.11 berhubungkait dengan keunggulan yang ingin dilakukan terhadap struktur yang dimodelkan.



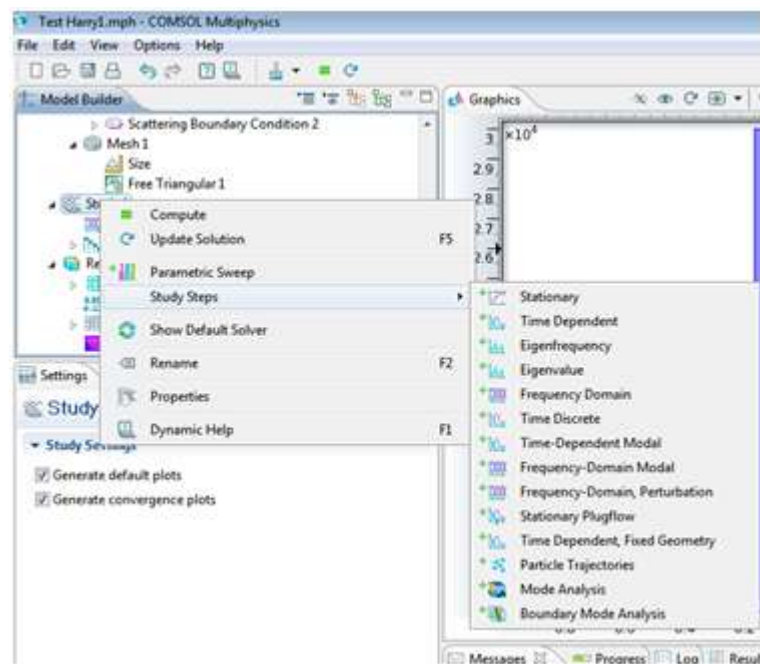
Rajah 4.11 Bentuk mata jaring dengan pemilihan yang disesuaikan dengan saiz elemen (bahagian kiri) dan hasil keputusan mata jaring sesuai dengan jumlah elemen “Extremely Coarse”

Pilihan yang berkaitan dengan jenis elemen iaitu, satu dimensi, dua dimensi dan tiga dimensi berhubung kait dengan tahap kesukaran dari jenis elemen yang ditunjukkan oleh sejumlah elemen – elemen titik (nodes) beserta jumlah darjah kebebasan (*degree of freedom* atau *DOF*) dari masing – masing titik (node).

Penentuan jumlah elemen pertautan berkaitan dengan jumlah dan saiz elemen dan penyebarannya, serta berkenaan dengan pemekatan daripada canggaan, terikan serta tegasan yang akan terjadi pada bentuk model struktur geometri serta penyebaran beban (dalam kes ini ialah cahaya) dan syarat sempadannya.

4.4.6 Kajian

Satu nod kajian memegang ciri – ciri yang menentukan bagaimana untuk menyelesaikan simulasi. Pada Rajah 4. 12 terdapat juga pengaturan untuk mengawal kelalaian memplotkan hasil kajian. Dengan melakukan klik kanan untuk mengira kajian, menambah langkah kajian, menunjukkan penyelesaian daripada kelalaian atau menambah nod sapuan berparameter. Pilihan tambahan boleh didapati jika memilih pilihan kajian termaju daripada senarai butang.



Rajah 4.12 Kajian simulasi dengan beberapa pilihan kajian – kajian termaju

4.5 ANALISIS DATA SIMULASI KAJIAN DOMAIN FREKUENSI

Simulasi ini akan membincangkan tentang dua domain kajian iaitu Kajian Domain Frekuensi dan analisis mod. Untuk setiap analisis ini akan dilihat serta simulasi untuk pencirian bahan wap kimia yang terdedah pada pengesan gentian optik plastik. Parameter – parameter sebagai masukan terdiri,

1. Frekuensi. Parameter ini dihubungkan dengan pemberian cahaya panjang gelombang yang diberikan kedalam gentian optik (λ) sebesar 632.5 nm.

2. Masukan Medan Elektrik (E_0) sebesar 1 V/m untuk satah - X. Nilai ini diberikan pada hamburan keadaan sempadan-1. Satah - Y dan satah - Z diberikan nilai 0 V/m.
3. Keluaran Medan Elektrik (E) sebesar 1 V/m untuk semua satah yang berkenaan (X, Y dan Z). Nilai ini diberikan pada keadaan sempadan-2 sebagai keluaran.

Pada analisis ini mengirakan dan melihat medan elektrik mod elektrik melintang (TE mode). Untuk mod TE ini, medan elektrik yang wujud adalah E_r , E_ϕ , H_r , H_ϕ , H_z dan nilai $E_z = 0$. Pada simulasi COMSOL hanya menghasilkan nilai dengan paksi kartesian sehingga untuk menjadikan paksi silinder ianya harus menggunakan persamaan Lampiran (F.23), (F.24), (F.25) dan (F.26).

4.5.1 Wap Ethanol

Pada tahap pengiraan simulasi awal, nilai parameter – parameter yang harus diberikan seperti yang ditunjukkan pada jadual 4. 1.

Jadual 4.1 Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi

No	Parameter – parameter awal	Symbol	Nilai	Unit
1	Titik pembekuan	T_L	-114.1	$^{\circ}\text{C}$
2	Suhu kerja	T	20 (293)	$^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{K}$)
3	Tekanan Wap	P	5899(0.05899)	Pa(Haran et al.)
4	Ketumpatan bahan	ρ	790	Kg/m^3
5	Kapasiti panas pada tekanan berterusan	C_p	2399	Joule / $\text{Kg}^{\circ}\text{K}$
6	Kelikatan Dinamik	μ	0.001186	Pa.Sec
7	Konduktiviti Terma	K	0.169	$\text{W} / \text{m}^{\circ}\text{K}$
8	Indeks Bias Ethanol	n_x	1.3601	-
9	Indeks Bias Teras Gentian Optik	n_1	1.47	-
10	Indeks Bias Salutan ZnO	n_{2x}	1.9889	-
11	Indeks Bias Salutan Gentian Optik	n_2	1.46	-
12	Panjang kuar pengesan gentian optik plastik	L	27	mm

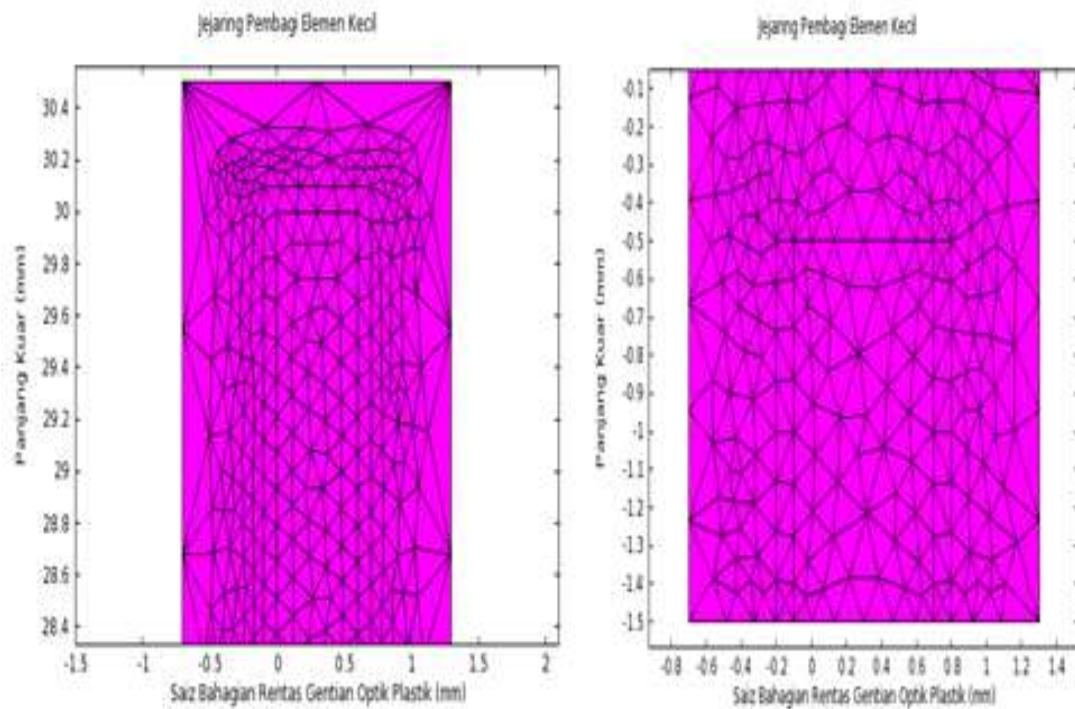
Pada rajah 4.13 dibawah menunjukkan hasil mendiskritkan atau pertautan sebuah kuar pengesan. Hasil ini menunjukkan beberapa nilai simulasi yang diberikan dengan bentuk pertautan iaitu segitiga. Bentuk matrik daripada pertautan ialah simetri yang bermakna bahawa hasil elemen diskrit pada kuar pengesan mempunyai jumlah yang sama, bahagian kiri dan bahagian kanan.

Jadual 4.2 menunjukkan nilai pertautan dalam simulasi penyebaran gelombang cahaya yang merambat pada kuar gentian pengesan gentian optik plastik. Hasil yang diberikan dimulai pada paras kekasaran saiz elemen. Semakin halus dalam melakukan simulasi pertautan akan dapat memberikan maklumat penyebaran gelombang cahaya serta struktur geometri penyebarannya. Penggunaan panjang gelombang 465 nm akan memberikan kesan kepada saiz dan jumlah elemen dalam simulasi. Semakin tinggi panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan akan memberikan jumlah saiz elemen yang semakin banyak dan proses penyelesaian akan memberikan masa yang agak lama.

Pada Jadual 4.1 hanya memberikan nilai dengan panjang gelombang sumber cahaya iaitu 465 nm sahaja. Hasil simulasi hanya memberikan saiz elemen pada keadaan normal, kerana untuk melakukan simulasi ini diperlukan kecepatan dan memori mesin simulasi atau komputer. Pada paras keadaan normal masih boleh memberikan maklumat struktur dan penyebaran gelombang cahaya seperti yang dilihat pada Rajah 4.13.

Jadual 4.2 Hasil simulasi pertautan untuk sumber gelombang optik 465 nm sesuai dengan saiz elemen

No	Saiz Elemen	Darjah Kebebasan	Jumlah Elemen	Masa Penyelesaian (saat)
1	Terlampau Kasar (Extreme Coarse)	25304	5044	15
2	Sangat Kasar (Extra Coarse)	29110	5804	16
2	Lebih Kasar (Coarser)	34760	6933	18
3	Kasar (Coarse)	36480	7276	17
4	Normal	37038	7387	17
5	Halus (Fine)	36962	7372	17
6	Lebih Halus (Finer)	39264	7831	18
7	Sangat Halus (Extra Fine)	27564	5486	18
8	Terlampau Halus (Extreme Fine)	34048	6762	18

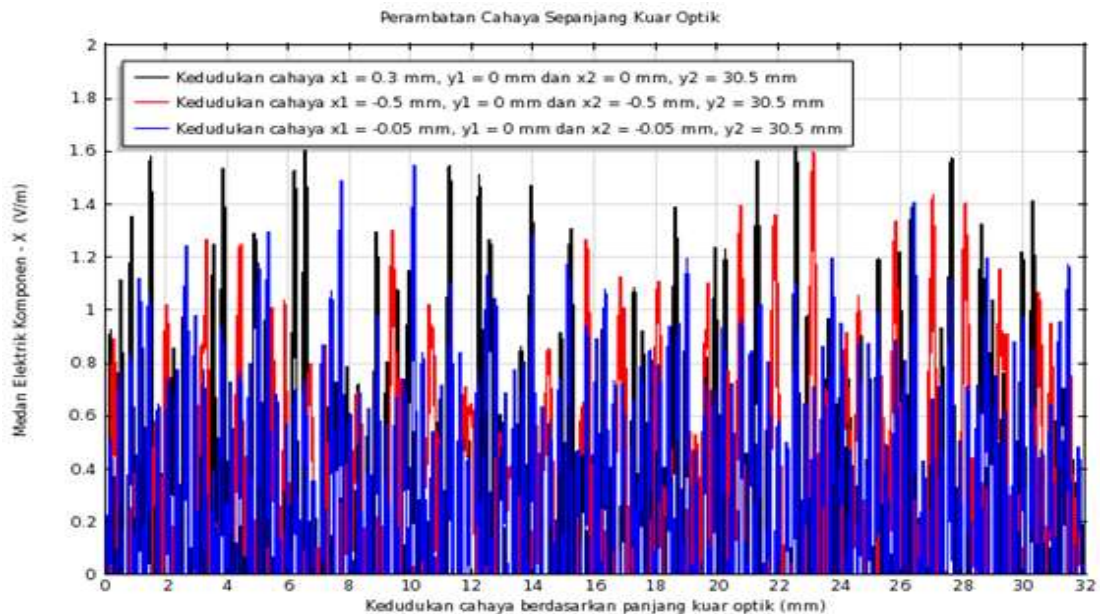


Rajah4.13 Hasil simulasi pertautan untuk gentian optik plastik sesuai parameter – parameter Ethanol yang telah ditentukan dengan saiz elemen *Extra Coarse*

Nilai komponen gelombang hasil simulasi yang boleh diperolehi berasaskan perambatan gelombang cahaya yang melalui bahagian teras gentian optik plastik, bahagian lapisan yang terubahsuai iaitu lapisan yang diberikan bahan ZnO, dan bahagian yang wap ethanol. Nilai komponen yang dimaksud adalah;

a. Komponen Medan Elektrik E_x

Berasaskan persamaan pada persamaan (F.18) dan rajah F.2 bahawa medan E_x ialah medan elektrik yang berada dalam keadaan medan seranjang terhadap E_r iaitu medan elektrik arah rambatan gelombang. Hasil simulasi medan E_x terlihat gelombang cahaya dapat merambat sepanjang kuar pengesan gentian optik.



Rajah 4.14 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_x untuk wap ethanol

Nilai simulasi yang diperolehi dalam Rajah 4.14 memberikan nilai positif untuk perambatan cahaya pada bahagian tengah (graf berwarna merah), bahagian lapisan ZnO gentian optik (graf berwarna hijau) dan bahagian luar gentian optik (graf berwarna biru). Nilai medan elektrik pada bahagian salutan ZnO lebih kecil berbanding berbanding dengan nilai medan elektrik yang merambat pada kawasan udara yang terdedah oleh wap aseton.

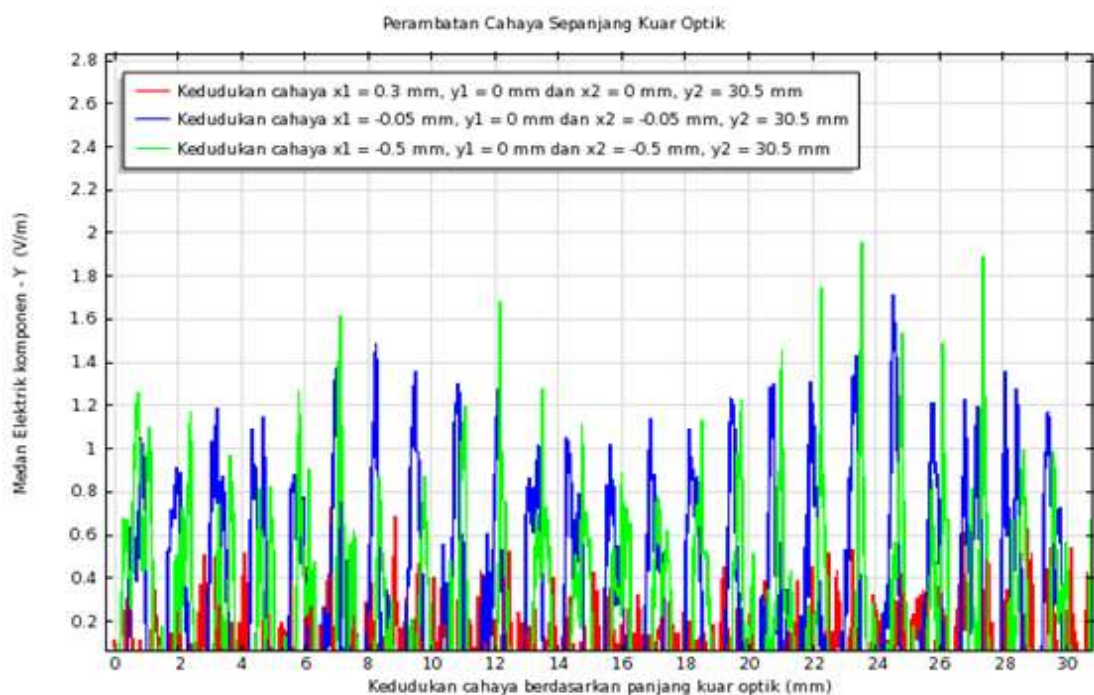
Keadaan ini kerana nilai indeks bias salutan ZnO 1.98 lebih besar berbanding indeks bias teras gentian optik 1.47 sehingga tidak terjadi pemantulan dalaman yang sempurna, serta menyebabkan gelombang cahaya dapat keluar ke kawasan wap aseton. Keadaan ini menyebabkan nilai perambatan cahaya di dalam kuar pengesan gentian optik tidak memiliki perbezaan yang ketara, tetapi akan menjadi berbeza apabila keluar daripada gentian iaitu nilai maksimum.

Nilai – nilai pada Rajah 4.14 dapat dilihat pada Lampiran A, A.1 Pada jadual lampiran A,A.1 nilai maksimum ternormalisasi yang didapati dari hasil simulasi bahawa cahaya optik akan tinggi apabila berada pada titik kedudukan 21 mm (untuk $X = -0.5$ mm) daripada titik awal cahaya diluncurkan ke dalam gentian optik untuk kawasan wap ethanol, begitu juga pada salutan ZnO cahaya optik akan tinggi pada

titik kedudukan 25 mm ($X = -0.05$ mm). Pada bahagian ditengah gentian optik atau teras gentian ($X = 0.3$ mm), cahaya optik tertinggi pada kedudukan awal peluncuran cahaya. Dalam simulasi dikatakan, titik kedudukan awal adalah 0 mm daripada panjang kuar optik.

b. Komponen Medan Elektrik E_y

Nilai medan elektrik E_y selalunya berserenjang dengan medan E_r dan E_x . Fenomena gelombang cahaya juga terjadi apabila diluar gentian optik plastik ($X = -0.5$ mm), di dalam lapisan kuar ZnO ($X = -0.05$ mm) dan teras gentian optik ($X = 0.3$ mm). Keadaan ini juga dilihat berasaskan pada persamaan (F.18) dan rajah 4.15.



Rajah 4.15 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_y untuk wap Ethanol

Pada lampiran A,A. 2 dapat dilihat daripada nilai ternormalisasi cahaya optik medan elektrik E_y bahawa diluar gentian optik atau pada kawasan wap ethanol cahaya optik akan tinggi pada kedudukan 26 mm dari titik mula kuar. Begitu juga dengan salutan ZnO pada kedudukan 28 mm merupakan cahaya optik tertinggi, serta 8 mm untuk teras gentian optik.

Untuk kedudukan medan elektrik satah y (E_y), di dalam teras gentian optik lebih kecil berbanding dengan medan elektrik yang ada pada lapisan ZnO dan diluar gentian. Keadaan ini terbalik dengan medan elektrik satah x (E_x), dalam koordinat silinder hanya melihat medan elektrik paduan (E_r) dengan menggunakan persamaan (F.18).

c. Komponen Medan Elektrik E_r dan E_ϕ

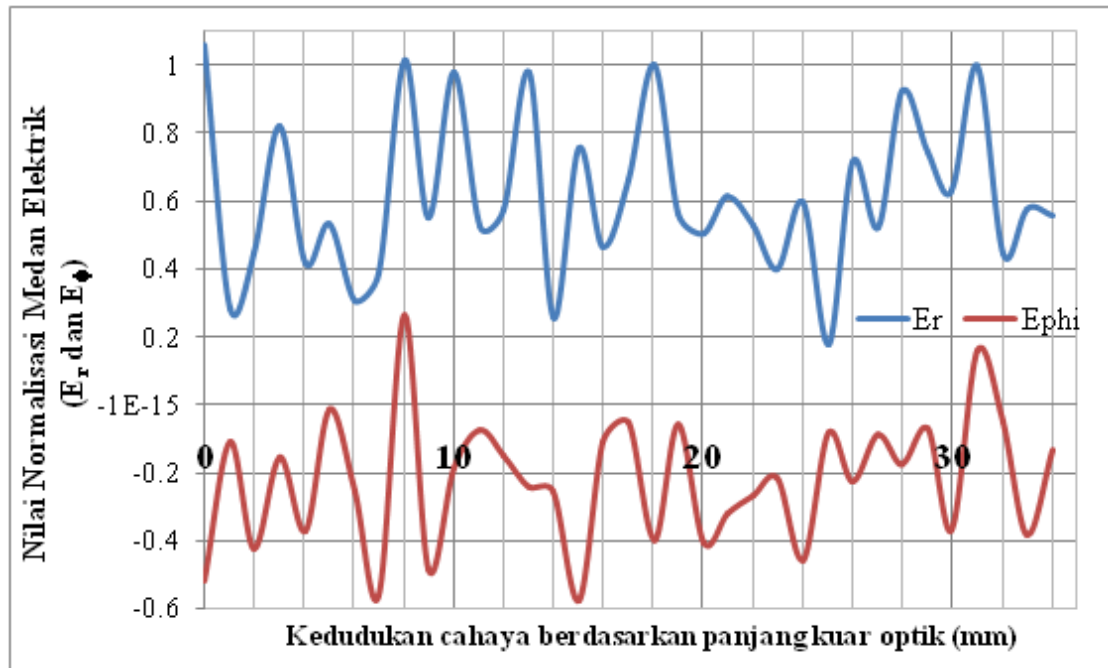
Dalam gelombang cahaya yang merambat pada komponen rambatan satah z, mod elektrik melintang (TE mode) akan menunjukkan bahawa $E_z = 0$. Nilai E_r merupakan hasil pencampuran komponen medan elektrik E_x dan medan elektrik E_y dengan sudut pengapit kedua medan elektrik tersebut (ϕ) iaitu,

$$E_r = E_x \cos \phi + E_y \sin \phi.$$

Seperti yang telah dijelaskan pada bahagian 4.3.2 dan persamaan (F.35b). Nilai pengiraan yang ditunjukkan pada lampiran A.A.3 merupakan nilai normalisasi medan elektrik satah - r pada paksi koordinat silinder (E_r) dengan sudut pengapit (ϕ) sebesar 45° . Untuk medan elektrik satah - sudut apit (E_ϕ) dalam koordinat silinder dapat dikira berasaskan medan elektrik satah - x dan medan elektrik satah - y sesuai dengan persamaan (F.18),

$$E_\phi = -E_x \sin \phi + E_y \cos \phi.$$

Asumsi sudut apit (ϕ) yang diberikan pada medan elektrik ini sebesar 45° . Nilai maksimum ternormalisasi atau perambatan medan elektrik satah - ϕ (E_ϕ) diluar gentian optik sebesar 0.115317 V/m ($X = -0.5$ mm), pada lapisan ZnO sebesar 0.097346 V/m ($X = -0.05$ mm) dan di dalam teras gentian optik sebesar 0.26464839 V/m ($X = 0.3$ mm). Nilai minimum ternormalisasi atau perambatan medan elektrik satah - ϕ (E_ϕ) diluar gentian optik -0.73459 V/m ($X = -0.5$ mm), pada lapisan ZnO sebesar -0.72305 V/m ($X = -0.05$ mm) dan di dalam teras gentian optik sebesar -0.57983 V/m ($X = 0.3$ mm).



Rajah4.16 Nilai pengiraan medan elektrik E_r dan E_ϕ untuk wap ethanol

Pada Rajah 4.16 dapat membandingkan kedua medan elektrik satah r dan ϕ (E_r dan E_ϕ) daripada perambatan gelombang optik ditengah gentian optik ($x = 0.3$ mm). Hasil kedua satah ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai medan magnetik untuk satah koordinat silinder iaitu H_ϕ , dan H_r .

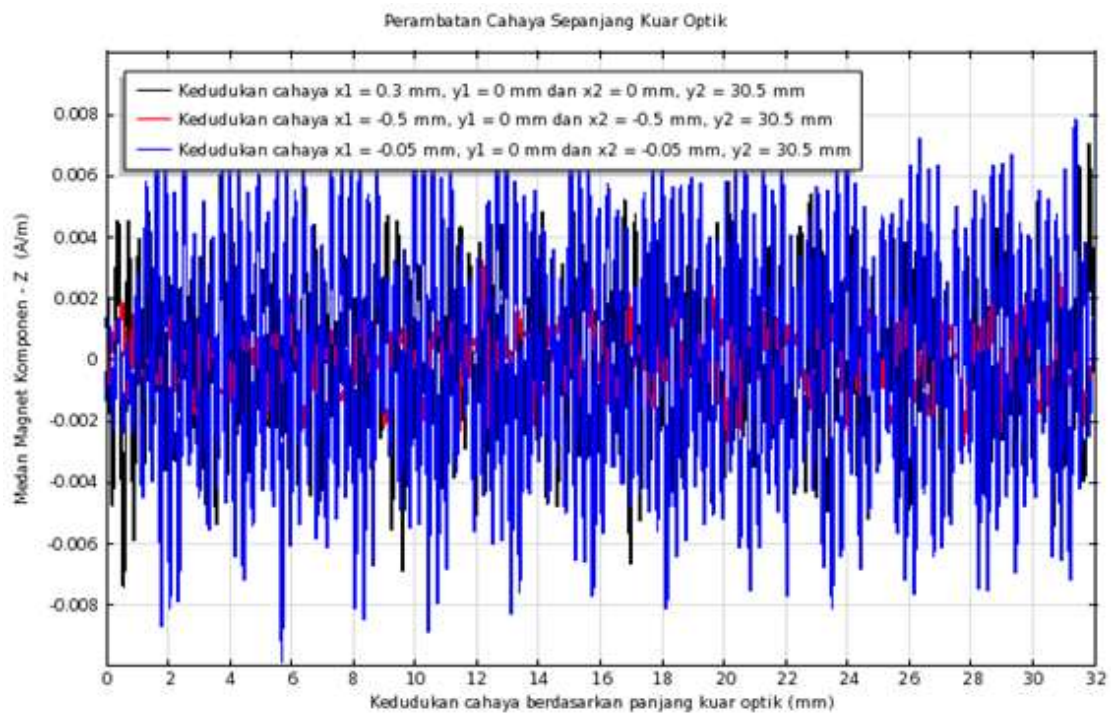
d. Komponen Medan Magnetik H

Pada perambatan gelombang cahaya untuk mod TE dinyatakan bahawa $E_z = 0$ dan $H_z \neq 0$. Dalam simulasi medan magnetik H menghasilkan graf pada paksi-x, $H_x = 0$ dan paksi-y, $H_y = 0$. Untuk paksi-z, $H_z \neq 0$, keadaan yang berbeza dalam perambatan cahaya kerana nilai H_z yang dibincangkan disini bukan pencampuran H_x dan H_y tetapi medan magnetik paksi-z untuk koordinat silinder.

Hasil – hasil pada graf ini hanya memberikan maklumat pada satu keadaan sahaja, dengan nilai indeks bias salutan ZnO (n_{2x}) ialah 1.9889 dan indeks bias Wap Ethanol (n_x) ialah 1.001090.

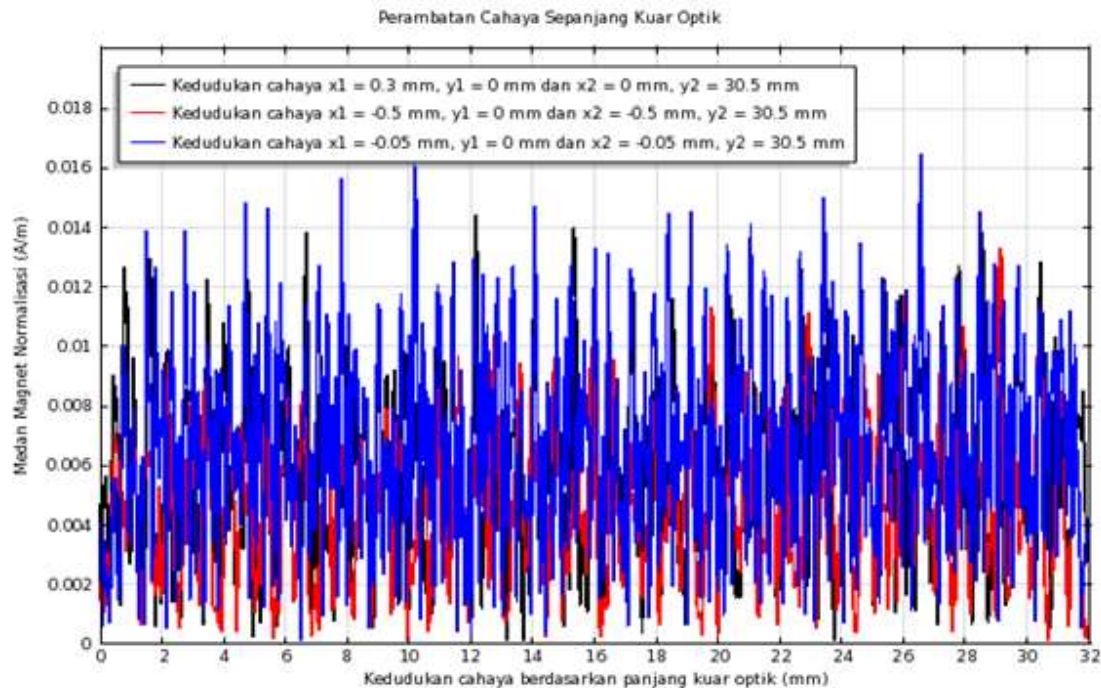
Rajah 4.17 menunjukkan bahawa nilai H_z diperolehi daripada persamaan (F.23) kerana nilai medan elektrik satah – $r(E_r)$ pada koordinat silinder sudah ditentukan pada bahagian 4.5.1.C atau persamaan (F.24) untuk satah – $\phi(E_\phi)$. Nilai H_z akan dimasukkan semula kedalam persamaan (F.25) untuk menentukan (H_r) dan persamaan (F.26) untuk menentukan (H_ϕ).

Pada Rajah 4.17 menunjukkan bahawa gelombang cahaya dapat keluar daripada salutan ZnO dan dapat terlihat pula pada kawasan wap ethanol. Keadaan ini bermakna perambatan gelombang cahaya yang ada di dalam gentian optik tidak mencapai pantulan total dalaman atau persyaratan yang harus diikuti ialah $n_1 > n_{2x}$ dan $n_{2x} > n_x$. Perbezaan nilai indeks bias ($\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$) secara am terletak diantara 0.001 dan 0.02.



Rajah 4.17 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_z untuk wap Ethanol

Keadaan pada graf ini menunjukkan bahawa nilai ($\Delta = (n_{2x} - n_x)/n_{2x}$) ialah 0.3161. Graf pada Rajah 4.17 ini menunjukkan tanda negatif bermakna bahawa gelombang cahaya dapat merambat keluar daripada teras gentian optik.



Rajah 4.18 Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Ethanol

Nilai pada rajah 4. 18 merupakan nilai normalisasi daripada ketiga komponen satah X, Y dan Z, dimana salah satu daripada nilai ketiga satah tersebut terlihat pada Rajah 4.17. Nilai medan magnet pada perambatan cahaya sangat kecil berbanding dengan nilai medan elektrik, kerana sifat cahaya merupakan medan elektromagnetik yang mempunyai sifat pengabadian energi foton.

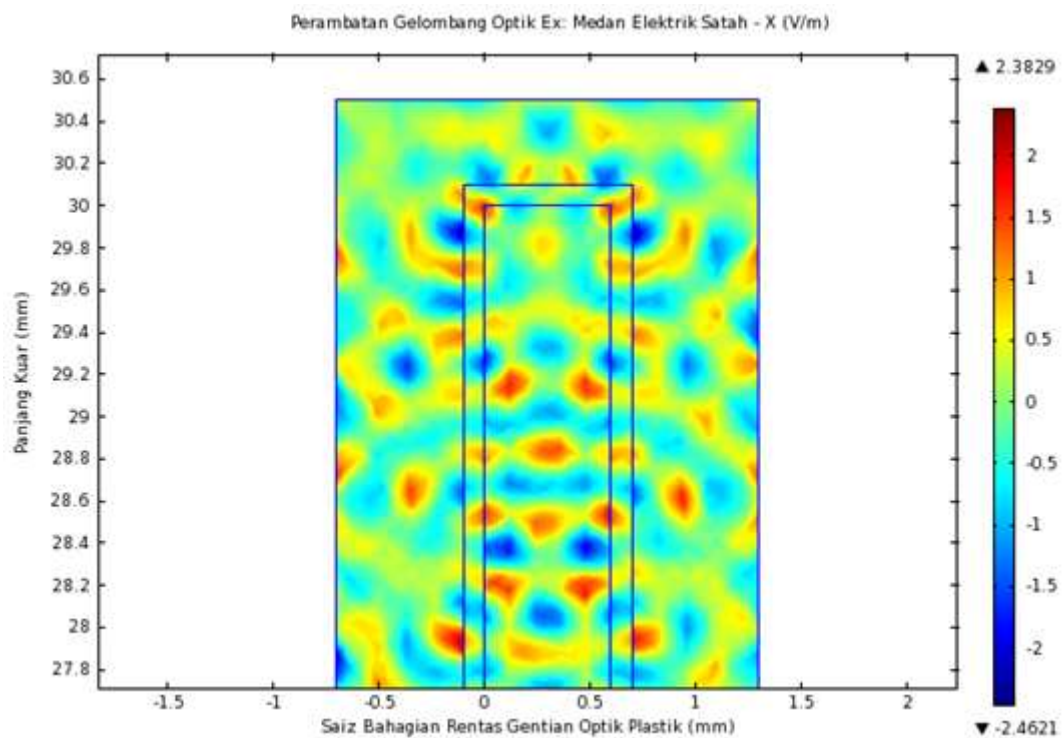
e. Bentuk Pola Perambatan Medan Elektrik Gelombang Optik Dala Bentuk Permukaan 2-Dimensi

Bentuk pola perambatan medan elektrik satah – x dalam bentuk permukaan kuar optik dapat dilihat pada Rajah 4.19. Perambatan gelombang optik keatas gentian dapat keluar menuju kawasan wap ethanol. Pada hasil simulasi ini menjelaskan keadaan tekanan bilik kebuk uji sebesar 58.99 mBar. Indeks bias salutan ZnO yang tinggi menghasilkan cahaya keluar daripada gentian optik atau tidak terjadi pemantulan dalaman total yang sempurna.

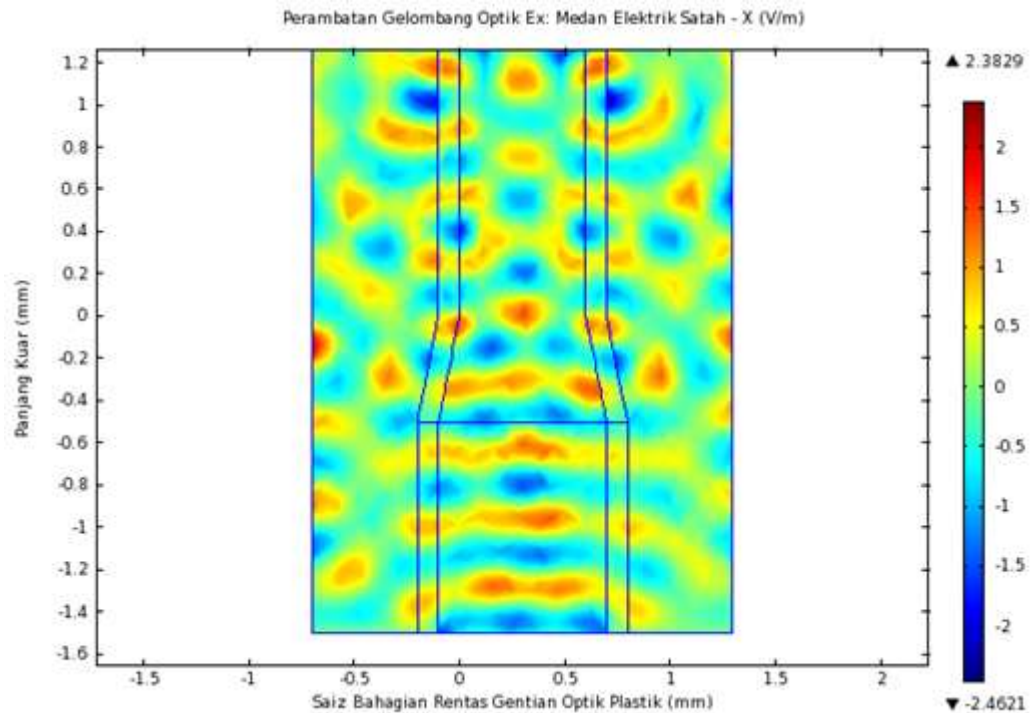
Keadaan yang berlaku pada Rajah 4.19 keatas cahaya setelah keluar daripada salutan ZnO ialah terjadinya pemesonan cahaya menuju kawasan wap ethanol.

Pemesongan telah berlaku daripada teras gentian kerana perbezaan indeks bias $\Delta_1 = (n_1 - n_{2x})/n_1 = -0.353$ dan $\Delta_2 = (n_{2x} - n_x)/n_{2x} = 0.316$. Untuk Rajah 4.19 menjelaskan keadaan medan elektrik untuk satah - X (E_x) dan Rajah 4.20 menjelaskan keadaan medan elektrik untuk satah - Y (E_y) pada bahagian bawah.

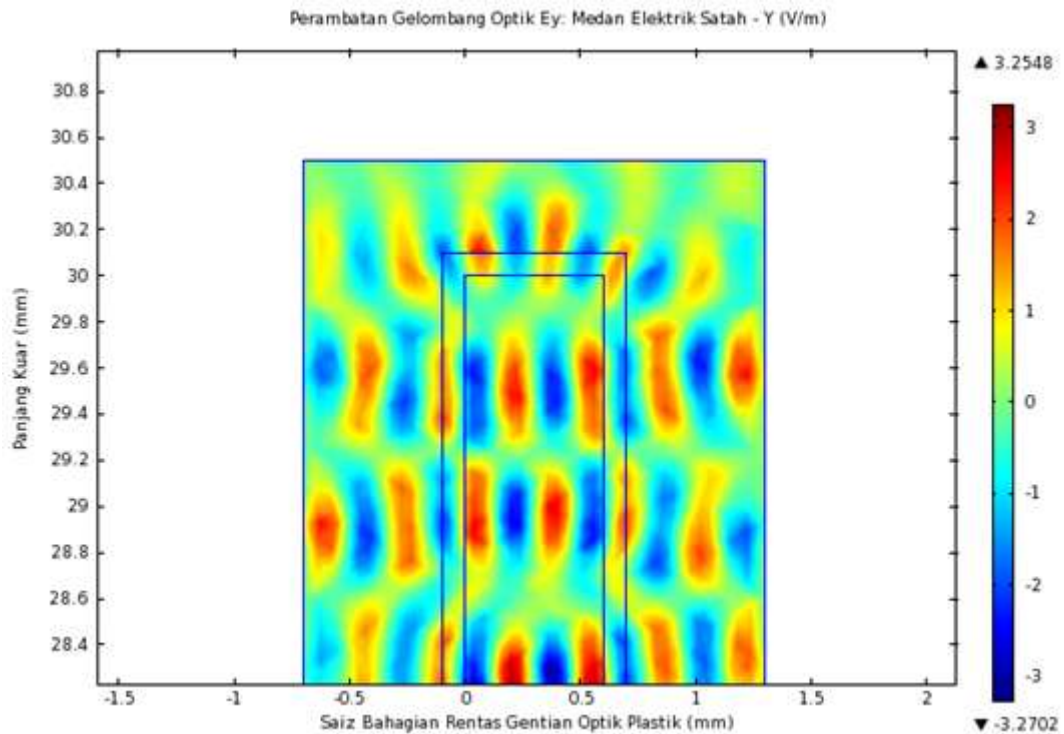
Rajah 4.21 dan 4.22 menjelaskan keadaan perambatan medan elektrik satah - y (E_y) pada bahagian atas dan bahagian bawah kuar gentian optik. Pada rajah 4.19 dan 4.21 terlihat keadaan kedua medan elektrik satah - X dan satah - Y saling berserenjang. Nilai medan elektrik kedua satah X dan Y akan digunakan untuk mendapatkan nilai medan elektrik sesuai dengan koordinat silinder E_r , E_ϕ , H_z , H_r dan H_ϕ sesuai dengan persamaan Lampiran (F.18), (F.19), (F.20) dan (F.21). Pada perisian COMSOL hanya menjelaskan perambatan gelombang dalam koordinat kartesian serta pola perambatan gelombang medan elektrik, medan magnetik dan pengiraan lainnya.



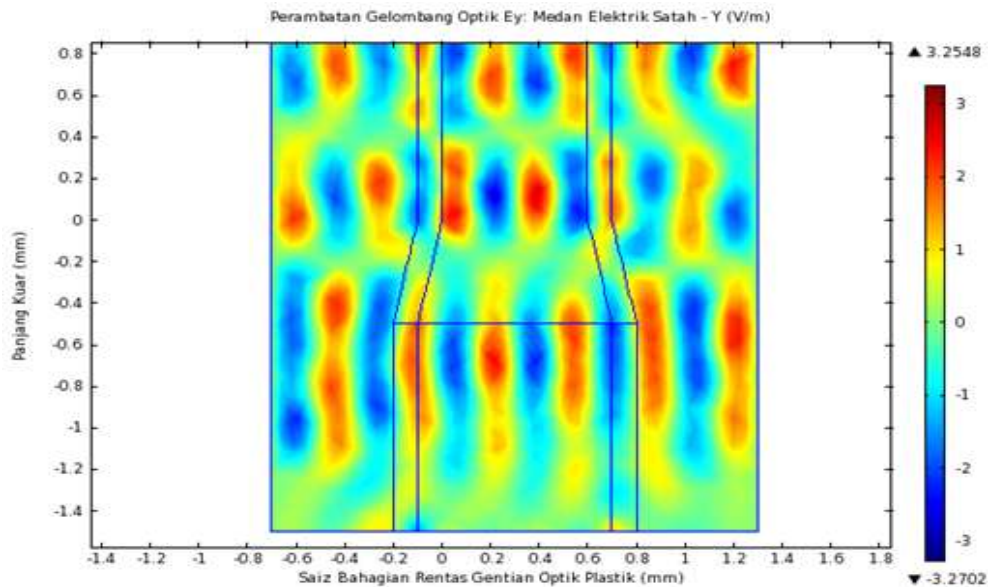
Rajah 4.19 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesanan gentian optik



Rajah 4.20 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik



Rajah 4.21 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik



Rajah 4.22 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik

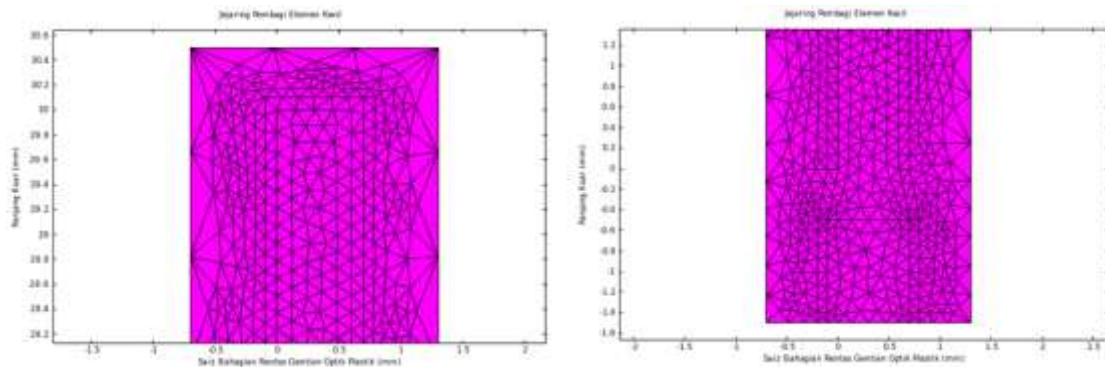
4.5.2 Wap Aseton

Pada tahap pengiraan simulasi awal, nilai parameter – parameter yang harus diberikan seperti yang ditunjukkan pada jadual 4.3 dibawah ini.

Jadual 4.3 Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi wap Aseton

No	Parameter – parameter awal	Symbol	Nilai	Unit
1	Titik pembekuan	T_L	-114.1	$^{\circ}\text{C}$
2	Suhu kerja	T	20 (293)	$^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{K}$)
3	Tekanan Wap	P	5899(0.05899)	Pa(Haran et al.)
4	Ketumpatan bahan	ρ	790	Kg/m^3
5	Kapasiti panas pada tekanan berterusan	C_p	2399	Joule / $\text{Kg}^{\circ}\text{K}$
6	Kelikatan Dinamik	μ	0.001186	Pa.Sec
7	Konduktiviti Terma	K	0.169	$\text{W} / \text{m}^{\circ}\text{K}$
8	Indeks Bias Aseton	n_x	1.35916	-
9	Indeks Bias Teras Gentian Optik	n_1	1.47	-
10	Indeks Bias Salutan ZnO	n_{2x}	1.9889	-
11	Indeks Bias Salutan Gentian Optik	n_2	1.46	-
12	Panjang kuar pengesan gentian optik plastik	L	27	mm

Pada rajah 4.23 merupakan simulasi jaring untuk parameter aseton dengan saiz elemen yang digunakan ialah Normal. Jaring ini digunakan untuk melihat keadaan perambatan gelombang optik, semakin kecil jaring segitiga menunjukkan semakin tinggi intensiti cahaya yang berada dikawasan yang berkenaan.



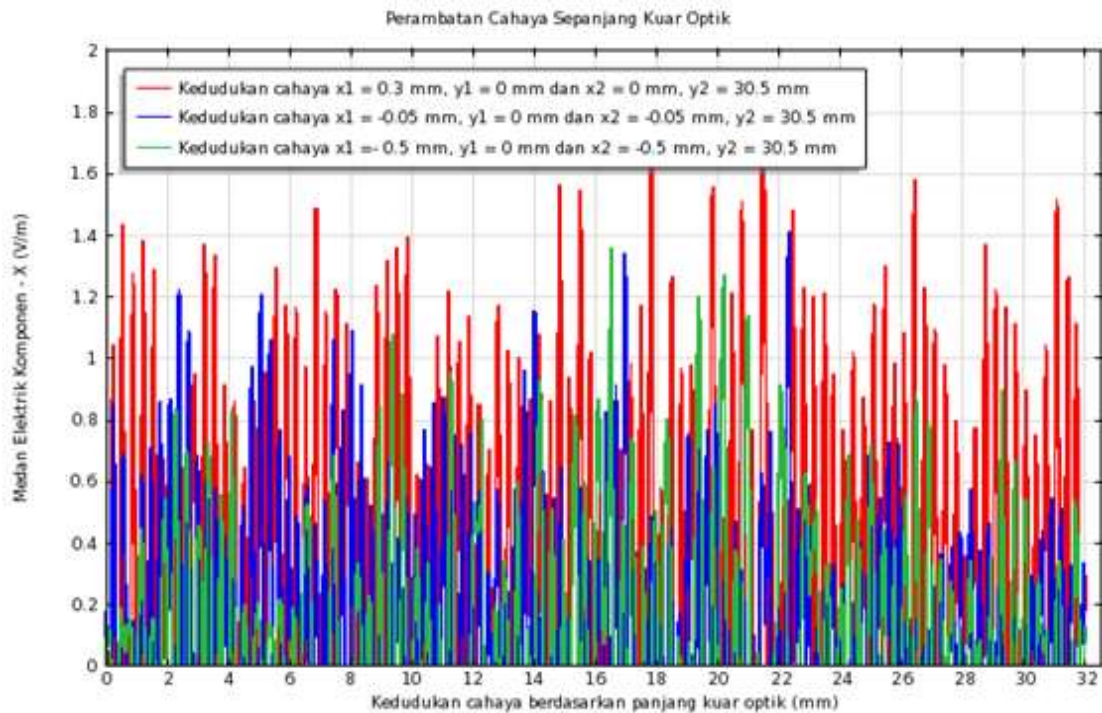
Rajah 4.23 Hasil simulasi Jaring untuk Gentian Optik Plastik sesuai parameter – parameter Aseton yang telah ditentukan dengan saiz elemen *Normal*

Keadaan kedua rajah 4.23 hanya membezakan keadaan hujung kuar dan pangkal kuar. Nilai pertautan segitiga semakin kecil maka nilai intensiti cahaya dikawasan tersebut akan semakin tinggi.

a. **Komponen Medan Elektrik E_x**

Seperti yang telah dibincangkan pada bahagian 4.5.1, komponen medan elektrik E_x merambat sepanjang teras gentian optik atau pada bahagian tengah dengan kedudukan $x_1 = 0.3$ mm (graf berwarna merah). Seperti ditunjukkan pada rajah 4.24, cahaya optik akan tetap keluar daripada gentian optik (graf warna hijau) atau lapisan ZnO (graf warna biru). Begitupula dengan keadaan cahaya optik dikawasan wap aseton menunjukkan penurunan intensiti berbanding kawasan lapisan ZnO dan kawasan teras kuar gentian optik ini.

Gelombang optik akan masuk kedalam teras gentian apabila sudut ketibaan sebesar 89.8613° atau dikatakan pemantulan total dalaman . Untuk sudut ketibaan 90° atau selari dengan lintasan optik, maka gelombang optik akan keluar menuju lapisan ZnO. Begitu juga jika sudut ketibaan lebih kecil daripada 89.8613° , gelombang optik akan keluar daripada teras gentian sebagai perumpamaan; Cahaya ketibaan $n_1 = 1.47$, $\theta_1 = 89.6510^\circ$; cahaya pembiasan $n_2 = 1.9889$, $\theta_2 = 47.6538^\circ$.



Rajah 4.24 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen E_x untuk wap Aseton

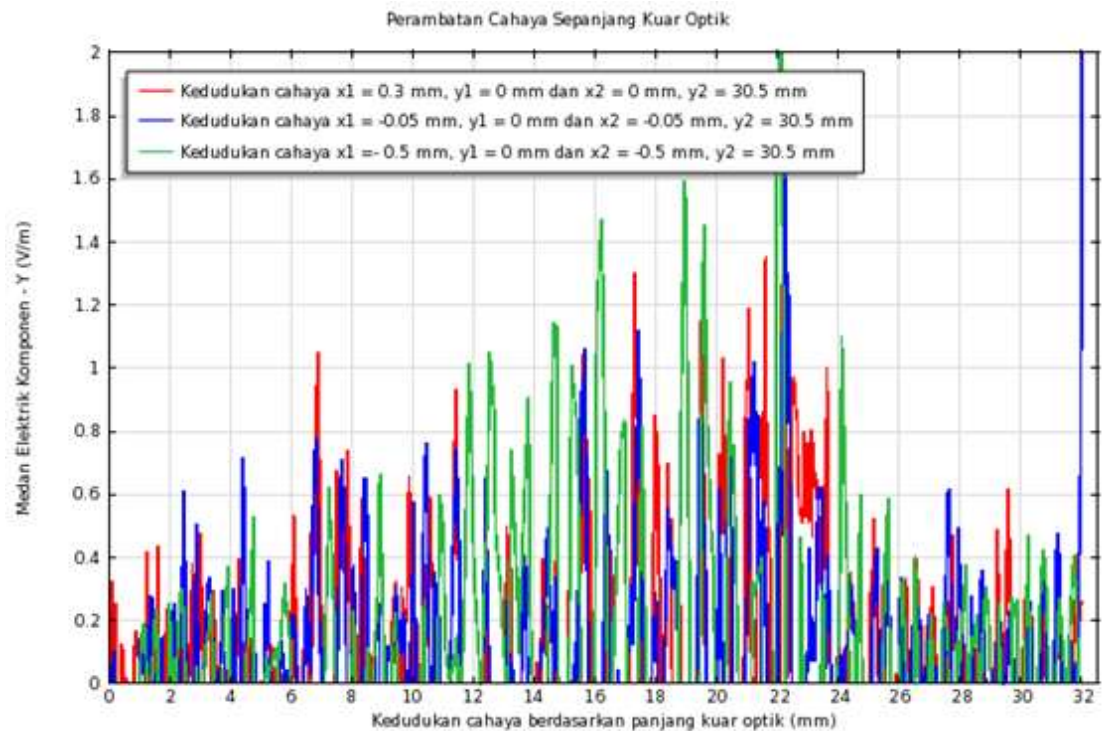
Lampiran A, A.5 menjelaskan nilai normalisasi medan elektrik paksi – x sepanjang kuar optik. Nilai ini dilihat sesuai pada bahagian tengah, bahagian selaput ZnO dan diluar gentian optik. Nilai normalisasi yang tertinggi didapat pada kedudukan panjang kuar 21 mm diluar gentian atau kawasan wap aseton serta kedudukan panjang kuar 23 mm di dalam gentian optik dan lapisan selaput ZnO.

Keadaan yang berbeza berbanding dengan komponen medan elektrik (E_x) untuk wap ethanol, dimana intensiti cahaya tertinggi pada teras kuar optik terletak pada kedudukan awal.

b. Komponen Medan Elektrik E_y

Medan elektrik paksi – y (E_y) menunjukkan intensiti cahaya pada paksi ini terhambur keluar daripada kuar optik, seperti terlihat pada graf warna hijau. Pada keadaan awal intensiti medan elektrik E_y ditengah gentian optik terlihat dalam keadaan tinggi, terlihat pada graf warna merah.

Intensiti pada bahagian tengah gentian pula akan mulai menurun pada kedudukan kuar dengan panjang ke 11 mm, gelombang optik akan bergerak keluar gentian atau kawasan optik pada kedudukan 11 mm yang dapat dilihat pada rajah 4.25 dengan garis graf berwarna hijau.



Rajah 4.25 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik pada komponen E_y untuk wap Aseton

Lampiran A, A.6 ini menjelaskan pergerakan nilai intensiti normalisasi pada medan elektrik komponen E_y pada setiap kedudukan kuar gentian optik. Nilai intensiti normalisasi diperolehi daripada absolut medan elektrik E_y dibahagikan dengan nilai maksima absolut tersebut sepanjang kuar gentian optik.

Pada lampiran A, A.6 ini pula kita boleh membandingkan tiga keadaan nilai intensiti pada setiap perambatan gelombang optik. Tiga keadaan yang dimaksudkan ialah keadaan ditengah kuar gentian optik, dikawasan selaput lapisan ZnO dan diluar kawasan gentian optik plastik. Kawasan diluar gentian atau kawasan yang memberikan pendedahan wap aseton kepada selaput lapisan ZnO.

Intensiti normalisasi medan elektrik E_y pada lapisan selaput ZnO dan kawasan diluar gentian akan berlaku nilai normalisasi yang sama pada keadaan kedudukan cahaya pada panjang kuar 24 mm. Kejadian ini menunjukkan bahawa gelombang optik bergerak keluar kerana nilai indeks bias selaput ZnO lebih tinggi berbanding nilai indeks bias teras kuar gentian optik plastik.

Kita boleh membandingkan keadaan untuk wap aseton dengan wap ethanol terhadap pergerakan medan elektrik komponen E_y . Secara am bahawa medan elektrik ini berserenjang terhadap medan elektrik komponen E_x .

c. Komponen Medan Elektrik E_r dan E_ϕ

Seperti yang telah dibincangkan sebelumnya bahawa nilai E_r digunakan daripada persamaan Lampiran (F.18)

$$E_r = E_x \cos\phi + E_y \sin\phi$$

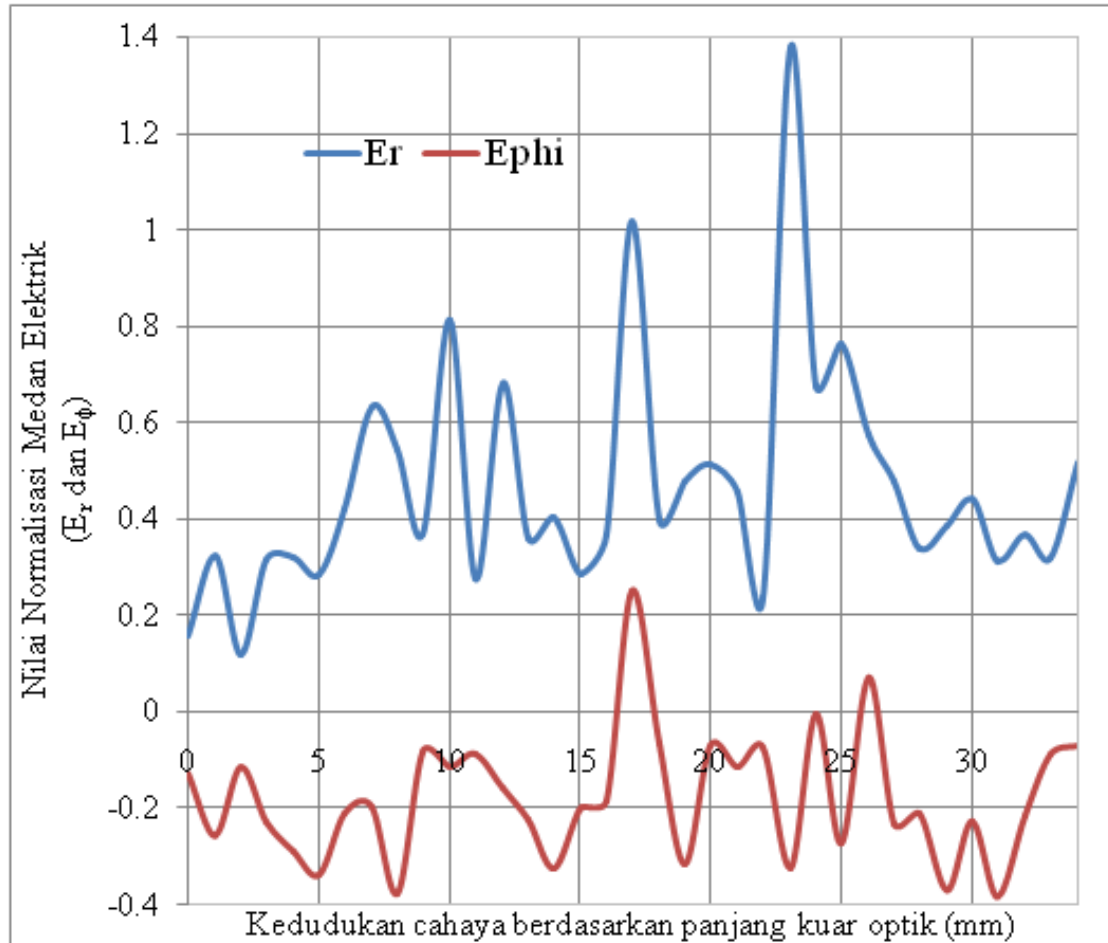
Nilai komponen E_r selalunya menghasilkan nilai yang lebih besar daripada 1 kerana pencampuran dua buah paksi x dan paksi y. Hasil pencampuran dua buah paksi x dan paksi y dapat dilihat pada lampiran A, A.7. Begitupula dengan komponen E_ϕ seperti yang dimaklumkan pada lampiran A, A.8 dengan menggunakan persamaan Lampiran (F.18)

$$E_\phi = -E_x \sin\phi + E_y \cos\phi$$

Pola keadaan kedua paksi (r, ϕ) yang berserenjang akan dapat dihasilkan dengan membandingkan dua keadaan tersebut. Pada Rajah 4.26 akan dapat melihat keadaan pola nilai pengiraan medan elektrik E_r dan E_ϕ . Pengiraan yang dihasilkan ada beberapa pola yang sama dan saling menyongsangkan.

Melihat graf pada Rajah 4.26 menunjukkan pola yang sama dalam perambatan gelombang optik. Perambatan ini merujuk sistem perambatan koordinat silinder iaitu satah - r dan satah - ϕ . Pada Rajah 4.26 menunjukkan keadaan akan berlaku penurunan nilai normalisasi medan elektrik.

Di dalam koordinat silinder kedua satah berserenjang serta pada simulasi ini sudut pengapit (ϕ) yang digunakan ialah 45° . Nilai – nilai yang diberikan untuk kedua satah ini merupakan nilai normalisasi.



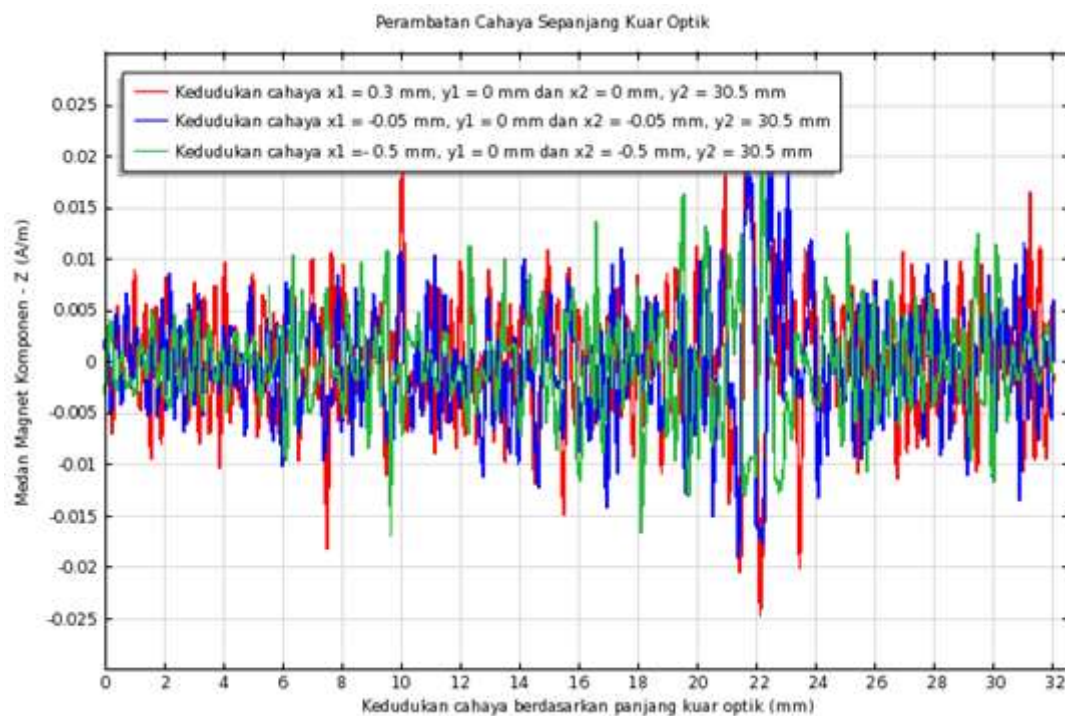
Rajah 4.26 Nilai pengiraan medan elektrik normalisasi E_r dan E_ϕ untuk wap Aseton

d. Komponen Medan Magnetik H

Seperti yang telah dibincangkan pada bahagian 4.5.1.D bahawa mod TE akan memberikan keadaan $E_z = 0$ dan $H_z \neq 0$. Hasil simulasi menunjukkan bahawa graf $H_x = 0$ dan $H_y = 0$, ianya memberikan garis lurus atau tidak memberikan pergerakan cahaya pada paksi tersebut. Pada Rajah 4.27 ialah pernyataan $H_z \neq 0$ serta hasil H_z bukan hasil pencampuran dua medan magnet paksi x dan y tetapi paksi-z sebagai koordinat silinder.

Hasil – hasil pada graf ini hanya memberikan maklumat pada satu keadaan sahaja, dengan nilai indeks bias salutan ZnO (n_{2x}) ialah 1.9889 dan indeks bias Wap Aseton (n_x) ialah 1.35916. Nilai H_z akan dimasukkan semula kedalam persamaan (F.25) untuk menentukan (H_r) dan persamaan (F.26) untuk menentukan (H_ϕ).

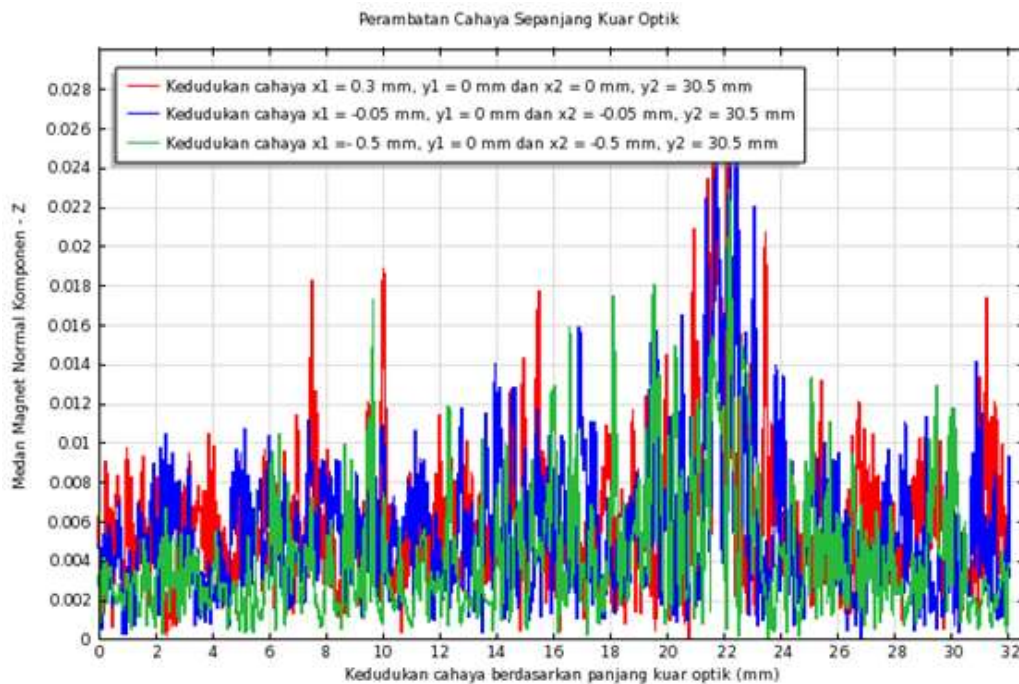
Pada Rajah 4.27 terlihat bahawa gelombang cahaya dapat keluar daripada salutan ZnO dan dapat terlihat pula pada kawasan wap aseton. Keadaan ini bermakna perambatan gelombang cahaya yang ada di dalam gentian optik tidak mencapai pantulan total dalaman atau persyaratan yang harus diikutkan ialah $n_1 > n_{2x}$ dan $n_{2x} > n_x$. Perbezaan nilai indeks bias ($\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$) secara am terletak diantara 0.001 dan 0.02.



Rajah 4.27 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_z untuk wap Aseton

Keadaan pada graf pada Rajah 4.27 menunjukkan bahawa nilai perbezaan indeks bias antara teras gentian dan salutan ZnO (Δ_1) ialah -0.35299. Nilai ini menunjukkan tanda negatif bermakna bahawa gelombang cahaya dapat merambat keluar daripada teras gentian optik. Begitu juga untuk nilai perbezaan indeks bias antara salutan ZnO dan kawasan wap aseton (Δ_2) ialah 0.3166.

Nilai pada Rajah 4.28 merupakan nilai normalisasi daripada ketiga komponen satah X, Y dan Z, nilai salah satu daripada ketiga satah tersebut dapat dilihat pada Rajah 4.27. Nilai medan magnet pada perambatan cahaya sangat kecil berbanding dengan nilai medan elektrik, kerana sifat cahaya merupakan medan elektromagnetik yang mempunyai sifat pengabadian energi foton.

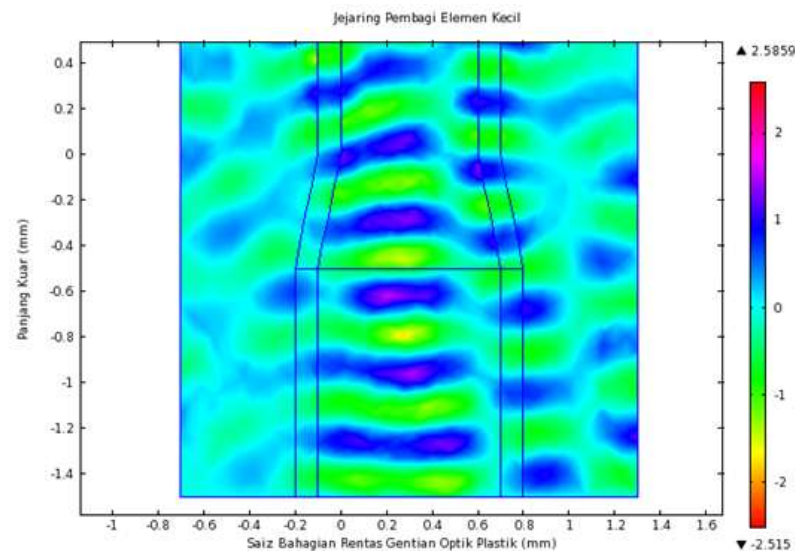


Rajah 4.28 Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Aseton

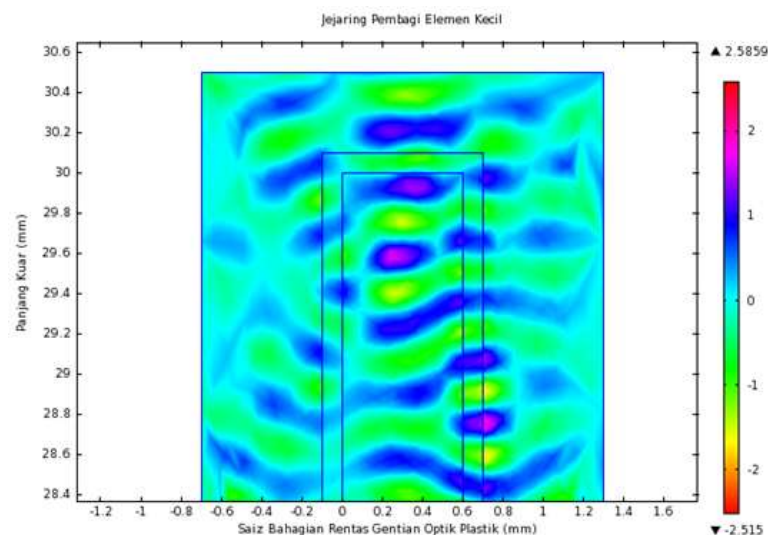
e. Bentuk Pola Perambatan Gelombang Cahaya Dalam Bentuk Permukaan 2-Dimensi

Bentuk pola perambatan dalam bentuk permukaan dapat dilihat pada Rajah 4.29 dan 4.30 untuk perambatan medan elektrik satah – x (E_x). Perambatan gelombang optik terlihat bahawa gelombang optik merambat ke kawasan wap aseton. Pemesongan perambatan gelombang kerana perbezaan indeks bias antara teras dan salutan ZnO $\Delta_1 = -0.353$, perbezaan indeks bias antara salutan ZnO dan kawasan aseton $\Delta_2 = 0.3166$. Untuk Rajah 4.31 dan 4.32 menunjukkan keadaan perambatan medan elektrik untuk satah – y (E_y). Kedua rajah melihat keadaan gelombang optik pada bahagian pangkal dan hujung kuar gentian optik plastik.

Nilai yang ditunjukkan pada simulasi ini menggunakan asas koordinat kartesian. Nilai medan elektrik satah - x (E_x) dan satah - y (E_y) akan digunakan untuk menentukan medan elektrik dan magnet E_r , E_ϕ , H_z , H_r dan H_ϕ disesuaikan dengan koordinat silinder.



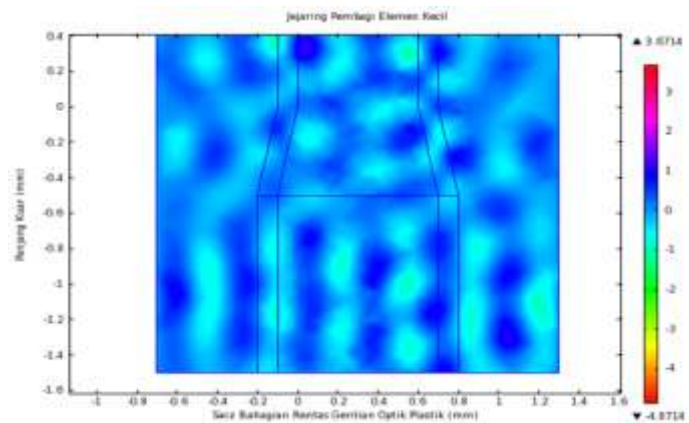
Rajah 4.29 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik



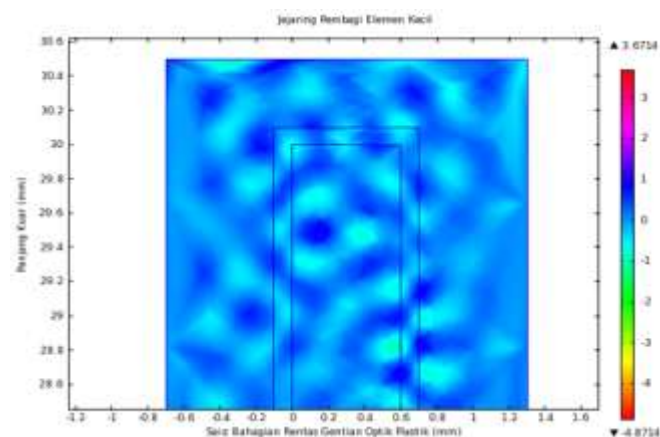
Rajah 4.30 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik

Pada rajah 4.31 dan 4.32 menunjukkan keadaan bentuk perambatan medan elektrik untuk satah - y (E_y) yang mempunyai bentuk perambatan selari dengan pandu gelombang optik. Keadaan bahagian pangkal kuar akan terjadi perbezaan pola bentuk perambatan pada kawasan kuar yang mempunyai salutan ZnO. Perubahan pola perambatan akan berlaku sehingga bahagian hujung kuar optik gentian optik plastik.

Perubahan pola perambatan kerana nilai perbezaan indeks bias yang sangat besar. Perbezaan indeks bias teras gentian optik dengan indeks bias (Δ_1) ZnO sebesar -0.353 menunjukkan bahawa tidak berlakunya pemantulan dalaman sempurna. Begitupula dengan perbezaan indeks bias antara salutan ZnO dengan kawasan wap aseton (Δ_2) ialah 0.3166.



Rajah 4.31 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik



Rajah 4.32 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2-dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik

4.5.3 Wap Methanol

Beberapa parameter – parameter yang harus diberikan dalam pengiraan simulasi, seperti yang ditunjukkan pada jadual 4. 4 dibawah ini. Parameter – parameter ini boleh digunakan sebagai pembolehubah sesuai dengan keadaan fizikal bahan yang akan dikaji. Untuk parameter – parameter yang berhubungkait dengan bahan atau keadaan persekitaran ujikaji, nilai – nilai yang diberikan ialah nilai nominal atau keadaan awam.

Jadual 4.4 Parameter – parameter yang digunakan dalam pengiraan simulasi

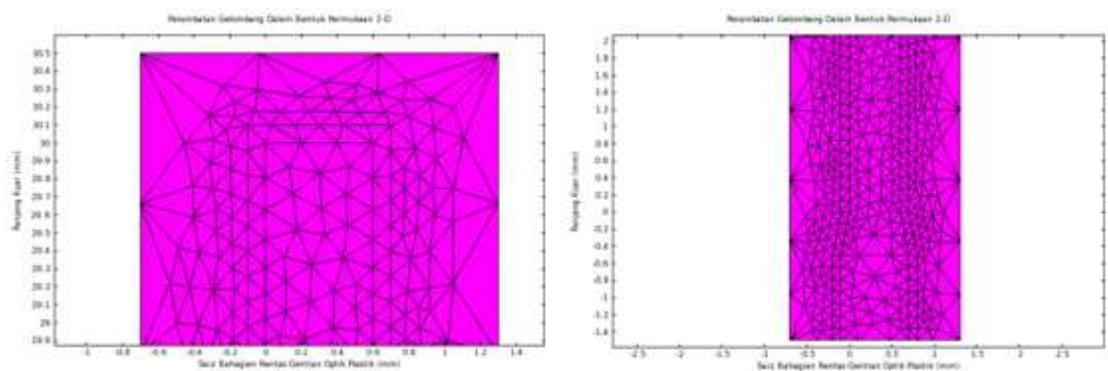
No	Parameter – parameter awal	Symbol	Nilai	Unit
1	Titik pembekuan	T_L	-114.1	$^{\circ}\text{C}$
2	Suhu kerja	T	20 (293)	$^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{K}$)
3	Tekanan Wap	P	5899(0.05899)	Pa(Haran et al.)
4	Ketumpatan bahan	ρ	790	Kg/m^3
5	Kapasiti panas pada tekanan berterusan	C_p	2399	Joule / $\text{Kg}^{\circ}\text{K}$
6	Kelikatan Dinamik	μ	0.001186	Pa.Sec
7	Konduktiviti Terma	K	0.169	$\text{W} / \text{m}^{\circ}\text{K}$
8	Indeks Bias Methanol	n_x	1.3431	-
9	Indeks Bias Teras Gentian Optik	n_1	1.47	-
10	Indeks Bias Salutan ZnO	n_{2x}	1.9889	-
11	Indeks Bias Salutan Gentian Optik	n_2	1.46	-
12	Panjang kuar pengesan gentian optik plastik	L	27	mm

Pada Rajah 4.33 menunjukkan keadaan hasil diskrit atau pertautan kuar pengesan. Beberapa nilai simulasi yang diberikan dengan membentuk segitiga. Pada jadual 4. 5 menunjukkan nilai pertautan dalam simulasi penyebaran gelombang cahaya yang merambat pada kuar gentian optik. Hasil yang diberikan dimulai daripada kekasaran saiz elemen. Pertautan ini memberikan maklumat penyebaran gelombang cahaya dan struktur geometri penyebaran. Seperti yang telah dijelaskan pada bahagian 4.5.1 bahawa penggunaan panjang gelombang 465 nm akan memberikan kesan daripada saiz dan jumlah elemen. Jumlah elemen yang banyak dan proses penyelesaian yang lama dikeranakan nilai panjang gelombang yang lebih besar.

Dalam simulasi menunjukkan saiz elemen pada keadaan normal, apabila melakukan proses simulasi pada keadaan pertautan terlampau halus maka kecepatan dan memori mesin simulasi memerlukan kapasiti yang tinggi. Pada keadaan normal hasil simulasi dapat dilihat pada Rajah 4.33. Untuk bahagian kiri menunjukkan keadaan hujung atas kuar gentian optik dan bahagian kanan menunjukkan keadaan pangkal kuar gentian optik.

Jadual 4.5 Hasil simulasi pertautan untuk sumber gelombang optik 465 nm sesuai dengan saiz elemen (Wap Methanol)

No	Saiz Elemen	Darjah Kebebasan	Jumlah Elemen	Masa Penyelesaian (saat)
1	Terlampau Kasar (Extreme Coarse)	25304	5044	10
2	Sangat Kasar (Extra Coarse)	29110	5804	11
2	Lebih Kasar (Coarser)	34760	6933	10
3	Kasar (Coarse)	36480	7276	10
4	Normal	37038	7387	10
5	Halus (Fine)	36962	7372	11
6	Lebih Halus (Finer)	39264	7831	11
7	Sangat Halus (Extra Fine)	27564	5486	10
8	Terlampau Halus (Extreme Fine)	34048	6762	10

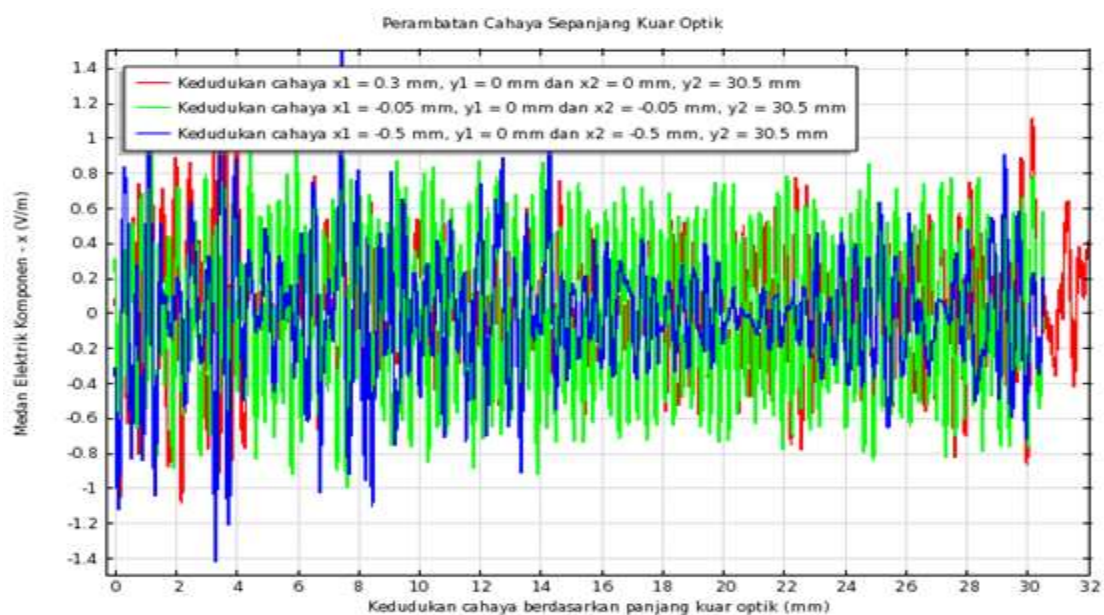


Rajah 4.33 Hasil simulasi Jaringan untuk Gentian Optik Plastik sesuai parameter – parameter Aseton yang telah ditentukan dengan saiz elemen Normal

a. Komponen Medan Elektrik E_x

Seperti yang telah dibincangkan pada bahagian 4.5.1 gelombang optik merambat sepanjang kuar gentian optik plastik. Pada keadaan awal mula cahaya masuk kedalam kuar intensiti yang ada mempunyai intensiti yang tinggi, sehingga intensiti akan menurun apabila mendekati hujung kuar gentian optik.

Keadaan ini dapat dilihat pada rajah 4.34, untuk keadaan gelombang optik yang merambat sepanjang salutan ZnO pada graf yang berwarna hijau atau kedudukan cahaya masuk dimulai pada $x_1 = -0.05$ mm; $y_1 = 0$ mm. Gelombang optik di dalam salutan kuar akan terlihat sangat kecil berbanding di dalam teras. Gelombang optik yang berlaku di dalam teras kuar akan beranjak keluar teras kerana tidak terjadinya pemantulan dalaman total. Perbezaan indeks bias antara teras kuar gentian optik dan salutan ZnO (Δ_1) akan didapat sebesar -0.35299.



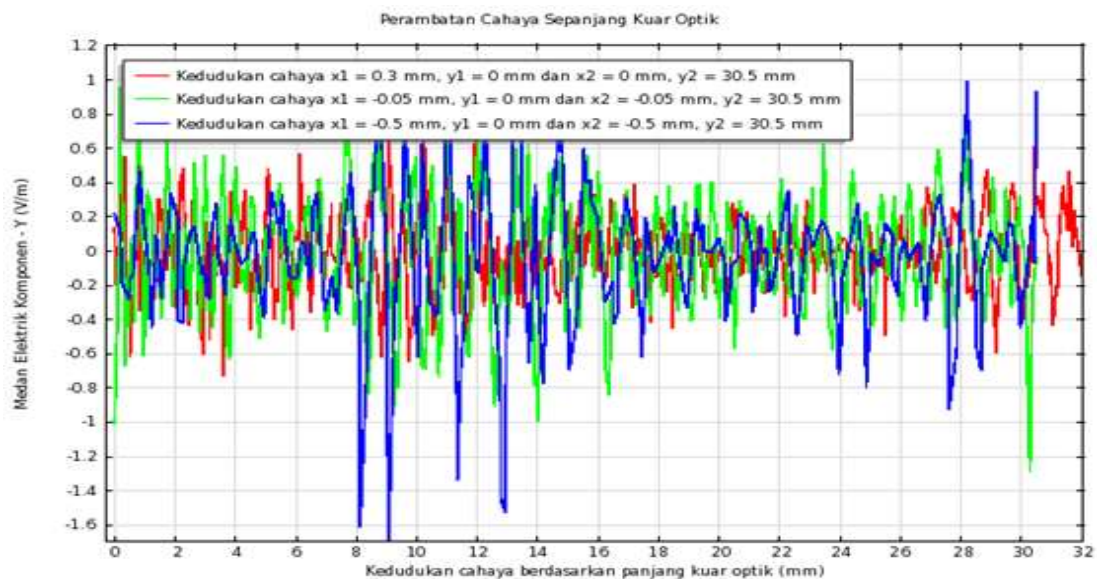
Rajah 4.34 Hasil simulasi untuk perambatan pada komponen E_x untuk wap Methanol

Untuk saiz elemen pertautan yang digunakan ialah Terlampau Kasar (*Extremely Coarse*). Pada lampiran A, A.9 merupakan nilai normalisasi medan elektrik satah – x. Nilai normalisasi ini didapat dari perbandingan nilai absolut medan elektrik satah – x kemudian dibahagi dengan nilai maksimum gelombang optik sepanjang kuar gentian optik plastik. Gelombang optik yang keluar daripada teras kuar gentian optik dapat dilihat pada Rajah 4.34. Untuk bahagian pangkal kuar, untuk nilai normalisasi medan elektrik satah – x pada bahagian salutan ZnO akan terjadi keluarnya cahaya daripada bahagian teras.

Nilai normalisasi tertinggi pada bahagian kawasan wap Methanol terletak pada kedudukan cahaya 11 mm daripada pangkal kuar. Begitupula dengan bahagian kawasan teras kuar optik terletak pada kedudukan cahaya 11 mm.

b. Komponen Medan Elektrik E_y

Pada Rajah 4.35 dapat dilihat bahawa medan elektrik satah – y pada bahagian hujung kuar, perambatan gelombang optik tidak berlaku pada kawasan salutan ZnO dan wap Methanol. Gelombang optik akan habis pada kedudukan cahaya 30.064 mm dalam salutan ZnO dan kawasan wap Methanol.



Rajah 4.35 Hasil simulasi untuk perambatan pada komponen E_y untuk wap Methanol

Perambatan medan elektrik satah – y dikawasan teras kuar sangat berbeza dengan medan elektrik satah – x, kerana kedua medan elektrik berserenjang. Pada lampiran A, A.10 menjelaskan keadaan normalisasi medan elektrik diketiga kawasan. Kawasan teras kuar gentian optik atau $x = 0.3$, nilai tertinggi terletak pada kedudukan awal kuar atau pangkal kuar gentian optik. Untuk kawasan salutan dan kawasan wap Methanol tetap terjadi perambatan gelombang optik, kerana tidak terjadinya pantulan dalaman total.

Nilai perambatan satah – y akan terjadi nilai normalisasi terhadap nilai tertinggi pada kedudukan kuar 10 mm. Keadaan ini tetap memberikan makna bahawa gelombang optik akan merambat keluar daripada kuar gentian optik. Proses perambatan keluar daripada kuar ini tidak berlaku secara berterusan. Fenomena gelombang optik dapat dilihat pada Rajah 4.36.

c. **Komponen Medan Elektrik E_r dan E_ϕ**

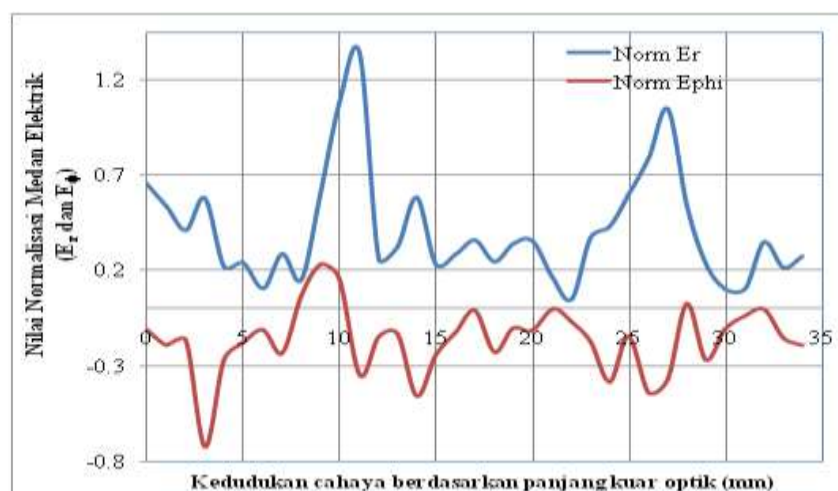
Seperti yang telah dibincangkan sebelumnya bahawa nilai E_r digunakan daripada persamaan Lampiran (F.18) yang mana pada simulasi ini memberikan penjelasan koordinat segiempat dapat dilihat pada lampiran A, A.11. Untuk melakukan pengiraan dapat dituliskan kembali,

$$E_r = E_x \cos\phi + E_y \sin\phi$$

Hasil pencampuran kedua paksi – x dan y menghasilkan nilai yang lebih besar daripada 1. Nilai medan elektrik satah – r dan satah - ϕ digunakan untuk melihat keadaan perambatan dalam koordinat silinder. Untuk medan elektrik satah - ϕ dapat dilihat pada lampiran A, A.12,

$$E_\phi = -E_x \sin\phi + E_y \cos\phi$$

Pada Rajah 4.36 menunjukkan pola yang tidak sama dalam perambatan gelombang optik pada satah – r dan satah - ϕ . Perambatan ini merujuk sistem perambatan koordinat silinder. Rajah 4.36 memberikan maklumat bahawa berlaku penurunan nilai normalisasi medan elektrik. Sudut pengapit (ϕ) yang digunakan ialah 45° dan nilai – nilai yang diberikan pada graf menggunakan nilai normalisasi.

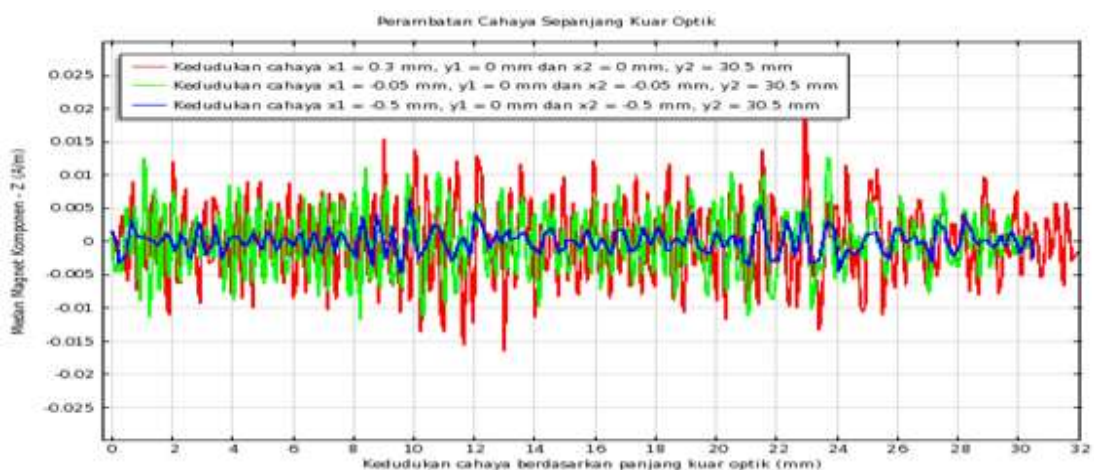


Rajah 4.36 Nilai pengiraan medan elektrik normalisasi E_r dan E_ϕ untuk wap Methanol

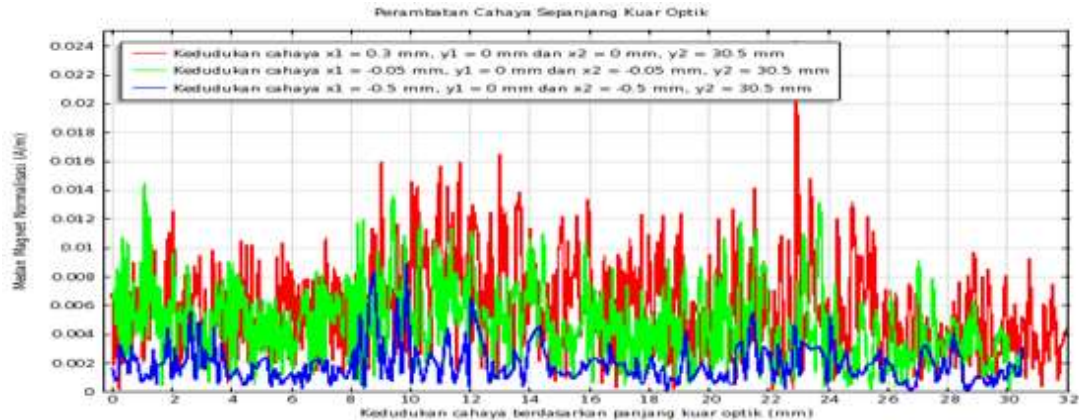
d. Komponen Medan Magnetik H_z

Seperti yang telah dibincangkan sebelumnya bahawa mod TE akan memberikan keadaan $E_z = 0$ dan $H_z \neq 0$. Seperti yang telah dibincangkan sebelumnya serta hasil simulasi bahawa gelombang magnetik daripada satah – x sama dengan nol ($H_x = 0$) dan satah – y sama dengan nol ($H_y = 0$). Sistem koordinat yang digunakan pada kedua satah ini ialah koordinat kartesius. Sehingga untuk membincangkan perambatan gelombang optik pada kuar gentian optik ini harus menggunakan sistem koordinat silinder. Hasil – hasil simulasi tersebut memberikan maklumat pada satu keadaan sahaja, dengan nilai indeks bias salutan ZnO (n_{2x}) ialah 1.9889 dan indeks bias Wap Methanol (n_x) ialah 1.3431.

Rajah 4.37 dan Rajah 4.38 menunjukkan bahawa gelombang cahaya dapat keluar daripada salutan ZnO dan ianya juga dapat dilihat di kawasan wap Methanol. Keadaan ini bermaksud perambatan gelombang cahaya yang ada di dalam gentian optik tidak mencapai pantulan total dalaman atau persyaratan yang harus diikuti ialah $n_1 > n_{2x}$ dan $n_{2x} > n_x$. Perbezaan nilai indeks bias ($\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$) secara am terletak diantara 0.001 dan 0.02. Untuk perbezaan nilai indeks bias antara teras gentian optik plastik dengan salutan ZnO (Δ_1) sebesar -0.35299, serta perbezaan indeks bias salutan ZnO dengan kawasan Methanol (Δ_2) sebesar 0.3247.



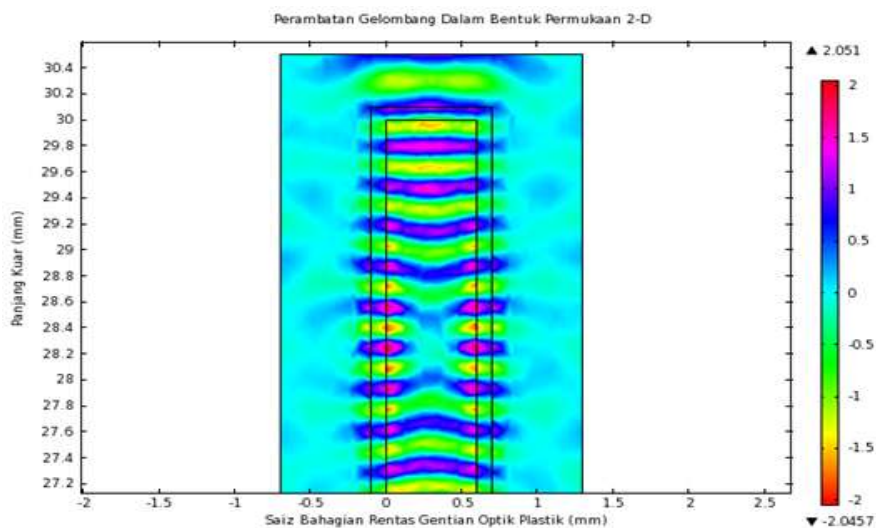
Rajah 4.37 Hasil simulasi untuk perambatan gelombang optik pada komponen H_z untuk wap Methanol



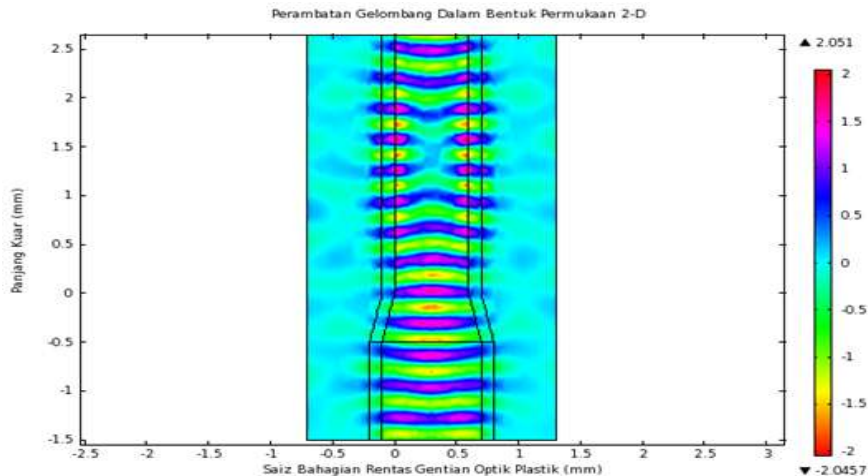
Rajah 4.38 Medan magnet normalisasi dari ketiga komponen satah (H_{norm}) untuk wap Methanol

e. Bentuk Pola Perambatan Gelombang Cahaya Dalam Bentuk Permukaan 2-Dimensi

Bentuk pola perambatan dalam bentuk permukaan dapat dilihat pada Rajah 4.39 dan 4.40 untuk perambatan medan elektrik satah – x (E_x). Perambatan gelombang optik terlihat bahawa gelombang optik merambat kekawasan wap Methanol. Pemesongan perambatan gelombang kerana perbezaan indeks bias antara teras dan salutan ZnO $\Delta_1 = -0.35299$, perbezaan indeks bias antara salutan ZnO dan kawasan Methanol $\Delta_2 = 0.4970$.

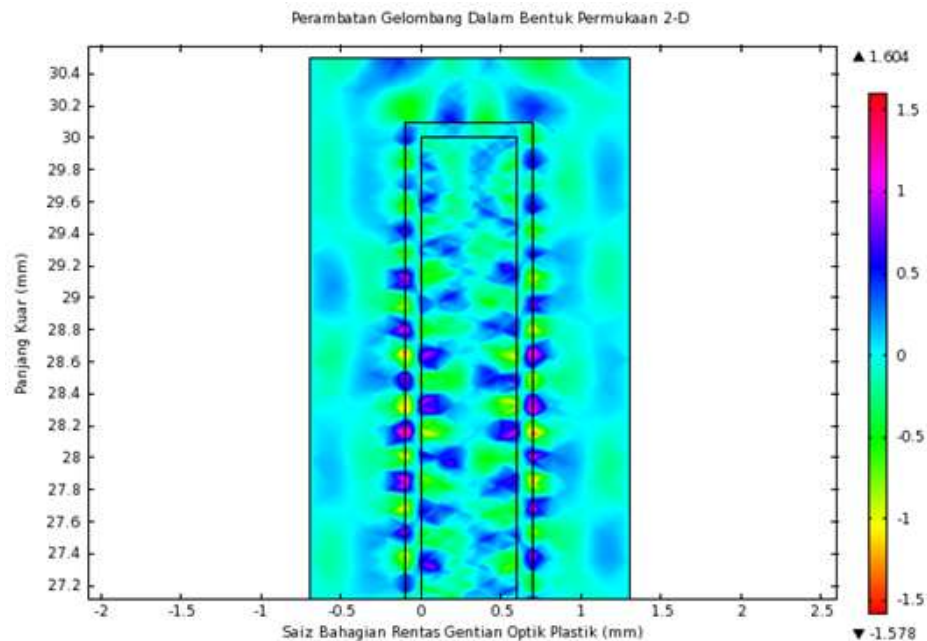


Rajah 4.39 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik untuk wap Methanol

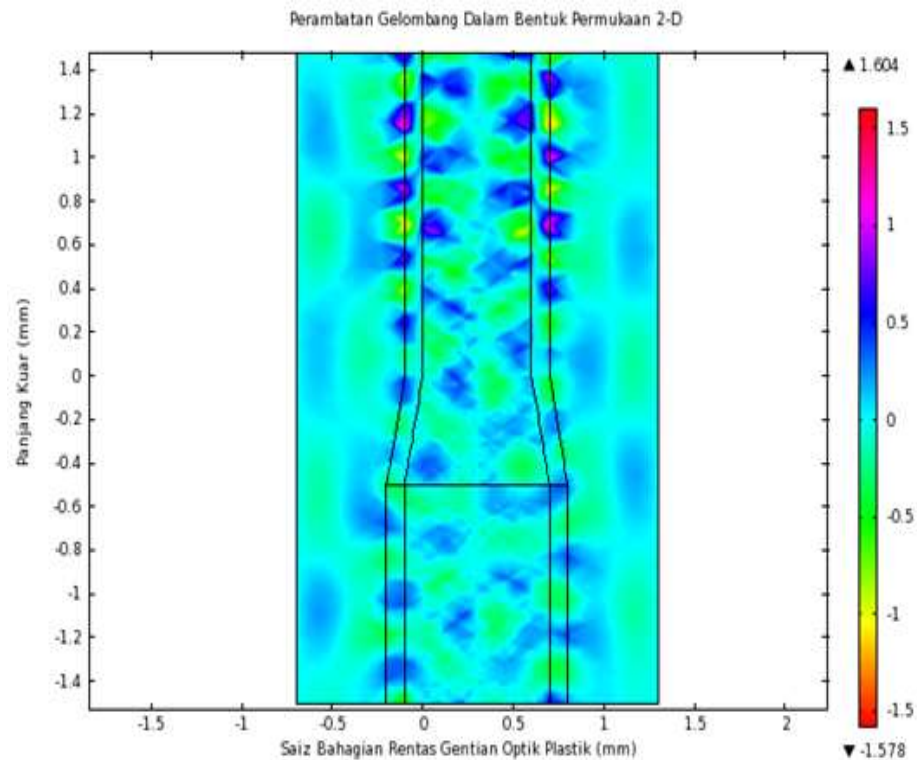


Rajah 4.40 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_x) gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 - dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik untuk wap Methanol

Untuk rajah 4.41 dan 4.42 menunjukkan keadaan perambatan medan elektrik untuk satah - y (E_y). Di kedua rajah tersebut dapat dilihat gelombang optik pada bahagian pangkal dan hujung kuar gentian optik plastik. Nilai yang ditunjukkan pada simulasi ini menggunakan asas koordinat kartesian. Nilai medan elektrik satah - x (E_x) dan satah - y (E_y) akan digunakan untuk menentukan medan elektrik dan magnet E_r , E_ϕ , H_z , H_r dan H_ϕ disesuaikan dengan koordinat silinder.



Rajah 4.41 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan dua dimensi pada bahagian atas kuar pengesan gentian optik



Rajah 4.42 Hasil simulasi untuk perambatan medan elektrik (E_y) gelombang optik dalam bentuk permukaan dua dimensi pada bahagian bawah kuar pengesan gentian optik.

4.6 RUMUSAN

Pada setiap data komponen medan elektrik didapati perubahan perambatan gelombang optik berdasarkan koordinat silinder. Data – data yang diberikan merupakan data normalisasi hasil simulasi. Tujuan normalisasi untuk mengatur julat data supaya tidak terlalu jauh. Normalisasi yang digunakan adalah normalisasi minimum – maksimum serta nilai julat yang digunakan adalah 0 sehingga 1. Persamaan normalisasi yang digunakan ialah,

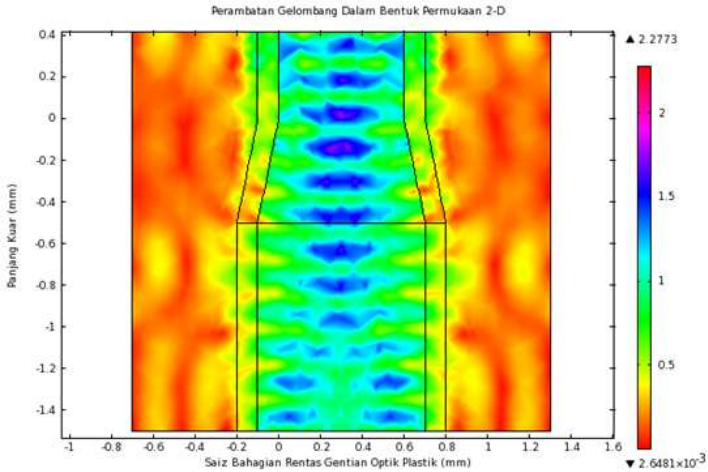
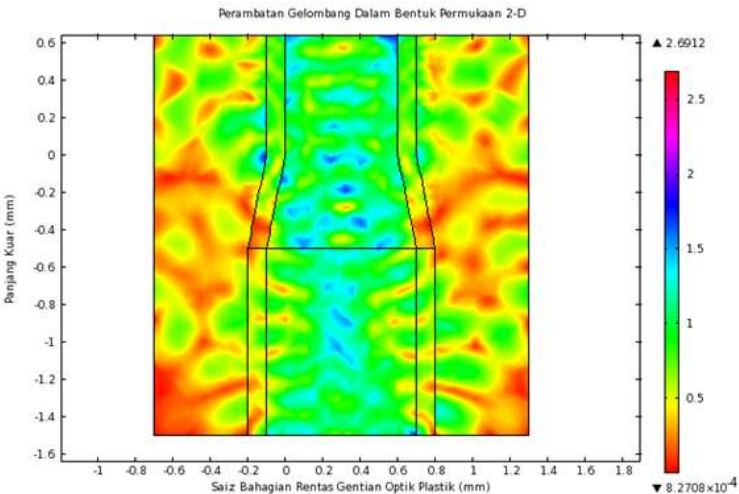
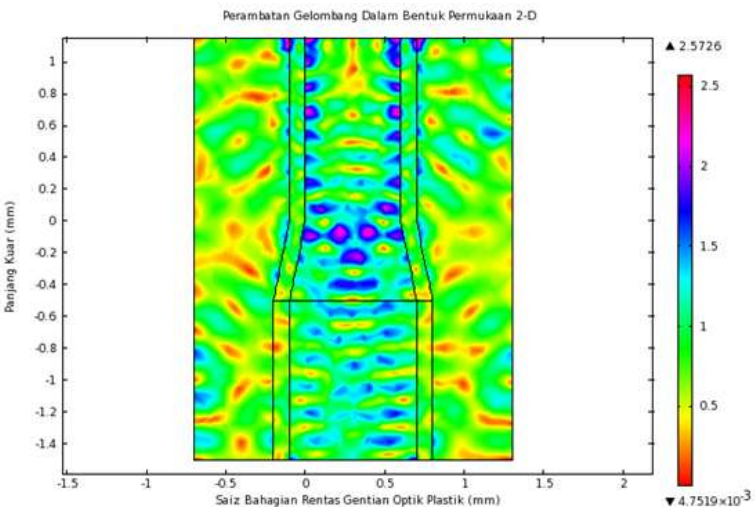
$$Norm\ x = \frac{x - \text{nilai minimum}}{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}} (1.0 - 0)$$

Medan elektrik satah – x atau E_x dan satah – y atau E_y merupakan nilai yang digunakan pada koordinat sistem segiempat tepat. Untuk mendapatkan perambatan gelombang optik perlu menggunakan sistem koordinat silinder yang bersesuaian dengan bentuk fizikal medium gentian optik tersebut.

Perubahan nilai medan elektrik satah – r pada koordinat silinder diambil daripada hasil darab medan elektrik satah – x dengan sudut apit ϕ serta dicampur dengan medan elektrik satah – y dengan sudut apit.

Semakin tinggi saiz elemen pertautan segitiga (*Mesh*) akan memberikan maklumat yang semakin mendekati keadaan nyata daripada fenomena perambatan gelombang optik pada kuar gentian optik, hasil ini boleh dilihat pada Jadual 4.6 untuk melihat keadaan gelombang optik yang ada di dalam kuar gentian optik dapat dicapai dengan pengiraan nilai normalisasi.

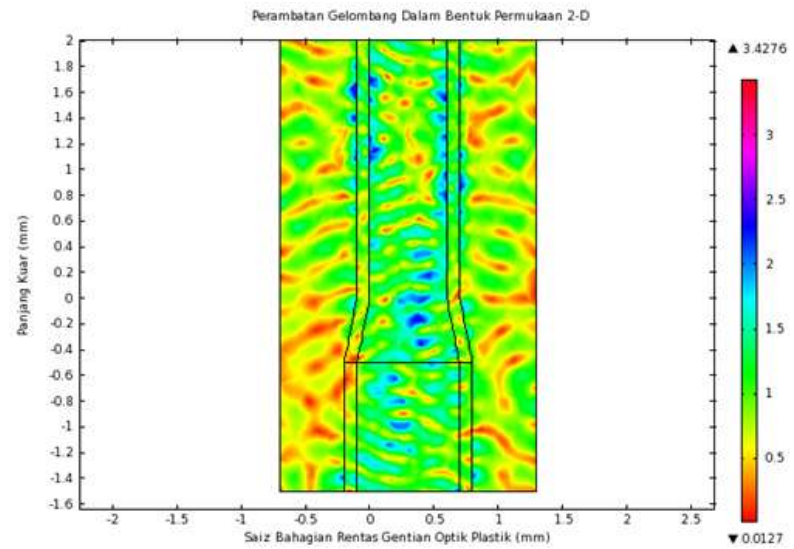
Jadual 4.6 Perambatan Gelombang Optik 2 – dimensi dengan perubahan tingkat pertautan untuk wap Methanol

No	Tingkat pertautan segitiga	Hasil simulasi perambatan gelombang optik dalam bentuk permukaan 2 dimensi
1	Terlampau halus	
2	Sangat Halus	
3	Lebih halus	

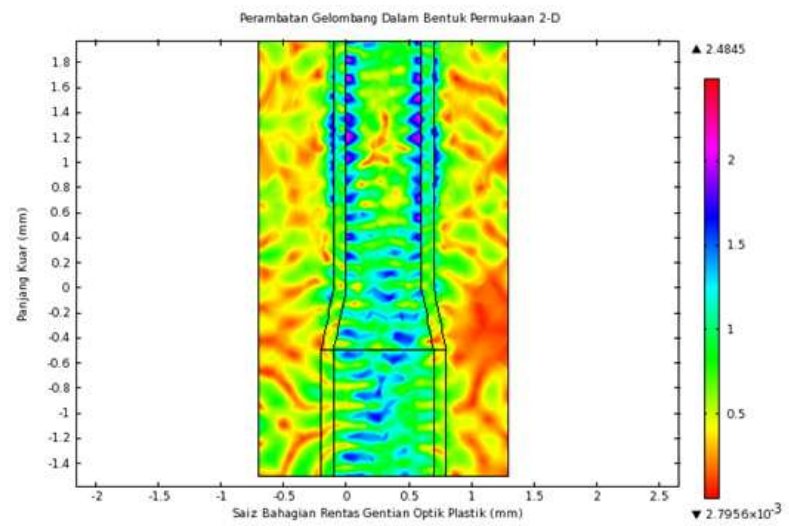
bersambung...

...sambungan

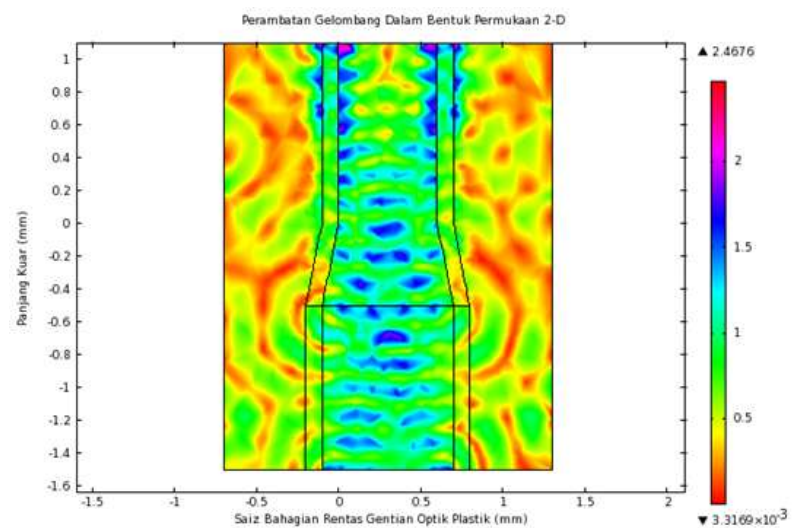
4 Halus



5 Normal



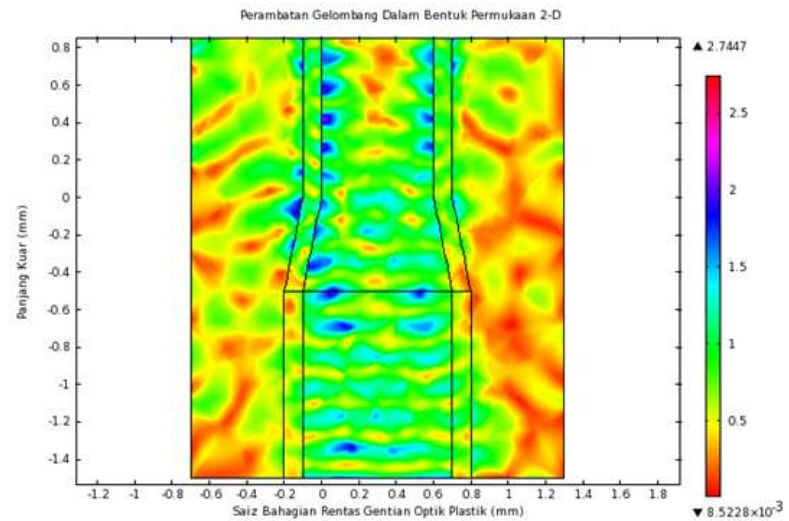
6 Kasar



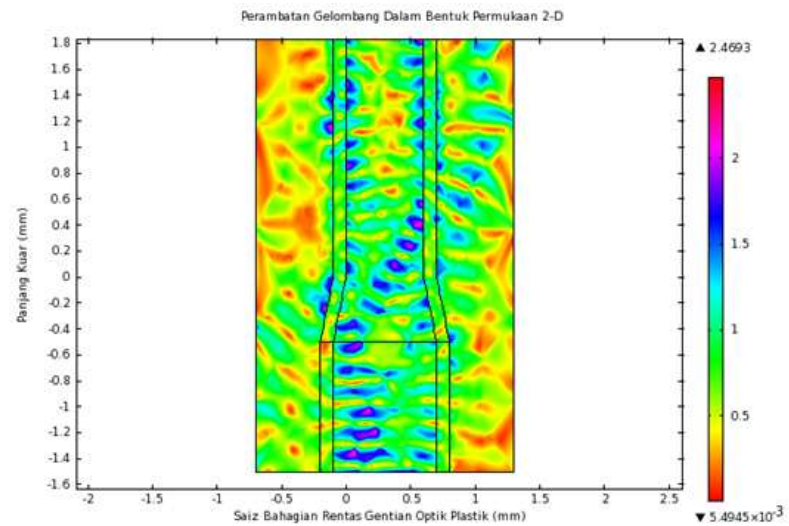
bersambung...

...sambungan

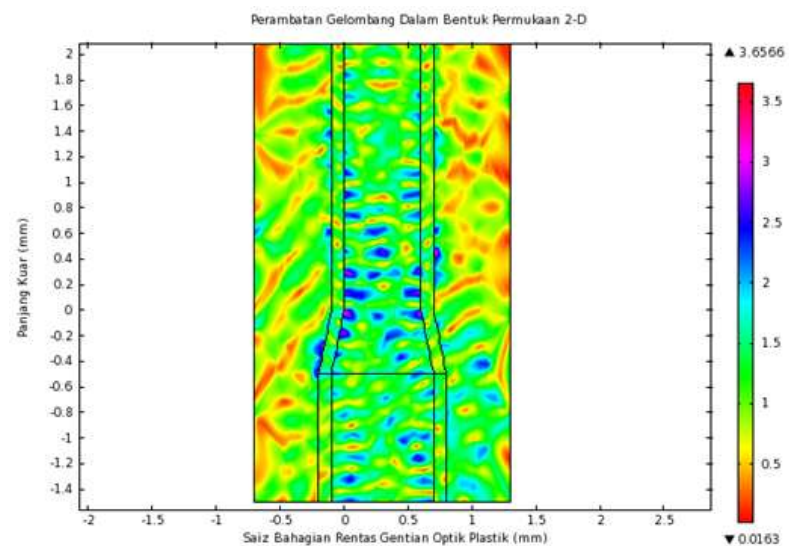
7 Lebih Kasar



8 Sangat Kasar



9 Terlampau Kasar



4.7 CADANGAN

Pada kajian yang akan datang dalam simulasi ini, pertama perlu dijelaskan intensiti yang dihasilkan kerana perubahan indeks bias secara diskrit dari pangkal gentian optik sehingga hujung kuar yang diuji. Perubahan indeks bias dapat diasumsikan sebagai pembolehubah tidak tetap atau sebagai asumsi adanya gangguan luaran keatas bahan gentian yang diujikaji.

Kedua, mengkaji tentang intensiti pada bahagian hujung kuar gentian optik kerana perubahan indeks bias salutan dan kawasan wap kimia terhadap tingkatan pertautan simulasi (*meshing grade simulation*). Anggapan yang didapat daripada ujikaji ini ialah meningkatkan aras kepercayaan terhadap hasil ujikaji secara eksperimen.

Ketiga mengkaji tentang intensiti pada bahagian hujung kuar gentian optik kerana kerana perubahan fizikal kuar atau pelbagai bentuk kuar dan perubahan indeks bias terhadap tingkatan pertautan simulasi.

BAB V

PENCIRIAN KUAR OPTIK BAHAN ZnO (ZINK OKSID)

5.1 PENDAHULUAN

Pada masa kini, penggunaan bahan ZnO (Zink Oksid) semakin meningkat untuk penggunaannya dalam teknologi pengesan, permukaan gelombang akustik (SAW – *surface acoustic wave*) dan peranti piezoelektrik (Kim et al. 1997; Hossein-Babaei & Taghibakhsh 2000; Water & Chu 2002; Sharma et al. 2003; Fang et al. 2007) kerana ketelusan yang tinggi, sifat – sifat piezoelektrik, jalur sela yang lebar dan mempunyai pencirian elektro-optik (Franz et al. 1996; Nagata et al. 2002; Park & Kim 2002).

Banyak teknik pemendapan yang berbeza – beza, seperti semburan pyrolysis (Ebothe et al. 2003), pemendapan laser dedenyut (Sumiya et al. 2003), kaedah pemercikan (Bang et al. 2003), pemendapan wap bahan kimia metal organik (MOCVD – *Metal organic chemical vapor deposition* (Bang et al. 2003)) dan epitaksi molekul sinaran (MBE – *Molecular beam epitaxy* (Fujita et al. 2003)) serta lapisan bercelup (*Dip Coating*) yang telah dikembangkan untuk menyediakan lapisan ZnO.

Setiap kaedah mempunyai kelebihan relatif untuk aplikasi tertentu. Antaranya, kaedah percikan adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan kerana beberapa kelebihan, seperti suhu substrat yang rendah, nilai pemendapan yang tinggi, permukaan yang beragam dan orientasi kristal yang sempurna. Walaubagaimanapun, membentuk tekanan dalam menimbulkan impak yang serius ke atas sifat – sifat mekanikal daripada pemercikan lapisan ZnO. Tekanan dalam menjadi sebuah cabaran untuk memahami bagaimana kesan beban, kadar beban, kelakuan penjalaran keatas sifat – sifat mekanik lapisan – lapisan ini. ZnO ialah bahan semikonduktor kumpulan II

– VI dengan jalur sela langsung yang lebar (~ 3.4 eV pada suhu bilik (Look 2001)) serta telah dipelajari beberapa tahun yang lalu. Walaupun penggunaan teknikal utama bahan ini, pada awalnya dihubungkan pada kecekapan cahaya yang tinggi dan penggunaan dalam elektronika kuasa (Emtage 1977; Einzinger 1979; Lou 1979). ZnO juga juga ditemukan secara luas dalam industri kosmetik dan merupakan komponen krim antiseptik dan losyen penyekat UV. Pada masa ini ZnO telah muncul sebagai bahan utama semikonduktor untuk UV dan alat pancaran cahaya biru, terutama sebagai hasil eksiton yang kuat daripada daya ikat (~ 60 meV (Van de Walle 2001)). Eksiton ialah keadaan terikat satu elektron dan lubang elektron yang tertarik satu sama lain dengan menggunakan daya coulomb elektrostatik.

Pengembangan bahan ZnO agak cepat pada lapan tahun lalu atau sebahagian daripada hasilnya berkualiti tinggi, luas – kawasan substrat ditanam dengan cara Terma-Wap dan kaedah pengangkutan wap – fasa, begitupula dengan lapisan nipis ZnO berkualiti tinggi boleh ditanam dengan pelbagai teknik seperti MBE, pemendapan laser berdenyut (PLD – *Pulsed Laser Deposition*), MOCVD dan lainnya.

5.2 KAJIAN PERPUSTAKAAN

Kepentingan ZnO untuk penggunaan pengesanan gas telah ditunjukkan pada tahun 1962 kepada bahan gas yang boleh terbakar (Seiyama et al. 1962). Pengesanan gas ZnO telah direka dalam pelbagai bentuk, seperti kristal tunggal (Jones et al. 1984), pelet tersinter, lapisan tebal, lapisan nipis, dan heterojunction. Lapisan nipis ZnO dijangka mempamerkan tahap sensitiviti gas yang tinggi, kerana mekanisma pengesanan melibatkan penyerapan bahan kimia (*chemisorption*) diikuti dengan pemindahan caj pada permukaan yang membawa perubahan dalam rintangan elemen pengesanan.

Kaedah yang berbeza telah digunakan untuk mendapatkan lapisan nipis ZnO, contoh, pengoksidaan suhu, pemendapan kimia, penyejatan sinar elektron, pengaktifkan penyejatan reaktif, semburan pirolisis, pemendapan wap kimia logam organik tekanan rendah (MOCVD) dan semburan magnetron RF.

5.2.1 Sintesis Struktur Kimia Nano ZnO

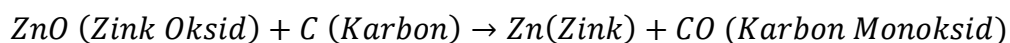
ZnO merupakan serbuk putih yang dikenali sebagai zink putih atau zinksid / mineral zinksid. Mineral ini biasanya mengandungi sejumlah unsur Mangan dan unsur lain serta berwarna kuning hingga berwarna merah. Bahan kristal ZnO ialah bahan termokromik, berubah dari warna putih ke warna kuning apabila dipanaskan dengan wap udara dan akan kembali kepada warna putih dalam proses penyejukan. Keadaan ini disebabkan kehilangan oksigen yang sangat kecil pada suhu tinggi untuk membentuk bahan $Zn_{1+x}O$, dimana pada suhu $800^{\circ}C$ didapat, $x = 0.00007$. ZnO ialah sebuah oksida amfoterik, bahan ini hampir tidak larut dalam air dan alkohol tetapi ia boleh larut dalam bahan asid, seperti asid hidroklorik.



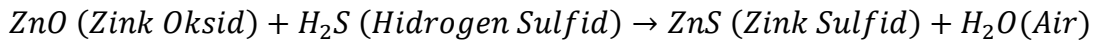
Asas ini juga menghilangkan bahan pepejal untuk memberikan larutan zincates;



ZnO bertindak balas secara perlahan dengan lemak asid dalam minyak untuk menghasilkan karbositat yang sama, seperti *oleat* atau *stearat*. ZnO membentuk produk simen apabila bercampur dengan larutan kukuh berupa larutan zink hidroksi klorid. Simen ini telah digunakan dalam bidang pergigian. ZnO terurai kepada wap zink dan oksigen hanya pada suhu $1975^{\circ}C$, hal ini menunjukkan kestabilan yang besar. Pemanasan dengan karbon ialah proses menukarkan oksida menjadi wap zink;



ZnO bertindak balas secara cepat dengan serbuk alumunium dan serbuk magnesium, dengan getah berklorin dan minyak biji rami pada masa pemanasan menyebabkan kebakaran dan letupan. ZnO juga bertindak balas dengan hidrogen sulfid untuk memberikan sulfida: tindak balas ini digunakan secara komersial untuk menghilangkan H_2S dengan memberikan serbuk ZnO (contohnya, penggunaan sebagai deodoran);



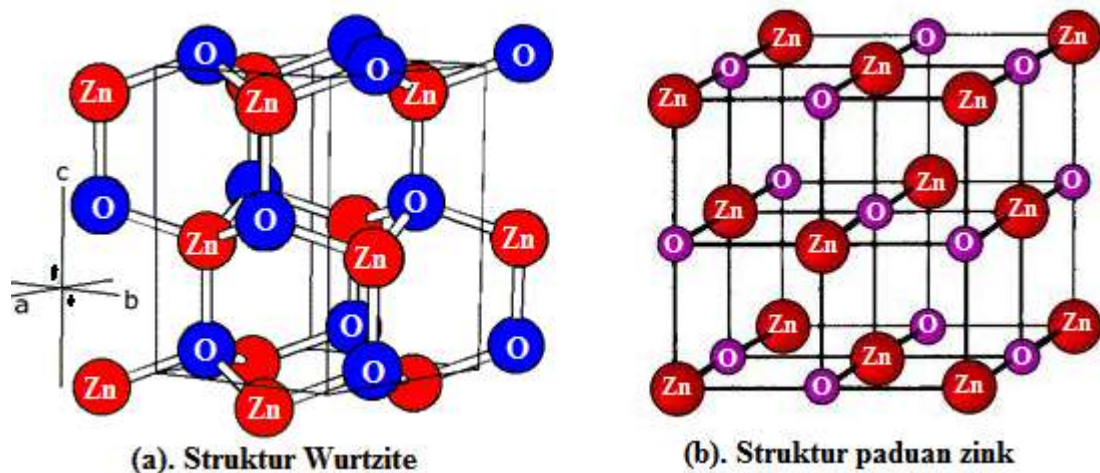
Apabila bahan salap yang mengandung ZnO dan air, kemudian dicairkan dan didedahkan pada cahaya UV maka hidrogen peroksida (H_2O_2) boleh dihasilkan.

5.2.2 Struktur Kristal ZnO

ZnO terhablur dalam tiga bentuk: *Wurtzite Heksagon*, *Cubic Zincblende* dan garam batu berbentuk kubik (bentuk yang jarang dikaji). Struktur *Wurtzite* adalah bentuk yang paling stabil dan yang paling biasa berlaku dipersekitaran. Bentuk *zincblende* boleh distabilkan dengan meningkatkan ZnO pada substrat dengan struktur kisi kubik. Dalam kedua – dua kes, Zink dan Oksid adalah tetrahedron. Struktur jenis garam batu NaCl hanya diperhatikan pada tekanan yang agak tinggi; ~ 10 GPa.

Bentuk struktur heksagon dan paduan zink kisi ZnO pada Rajah 5.1 tidak mempunyai simetri penyongsang (pantulan relatif kristal diberikan pada setiap titik struktur, dimana titik struktur tidak diubah kedalam struktur ZnO sendiri). Kisi ZnO dan kisi bahan lainnya menghasilkan sifat – sifat kisi simetri pada piezoelektrik struktur heksagon dan zink dalam paduan ZnO serta dalam sifat pyro-elektrik struktur ZnO. Struktur heksagon mempunyai sebuah kumpulan titik 6 mm (tatatanda Herman – Mauguin) atau C_{6v} (catatan Schoenflies), dan kumpulan ruang $P6_3mc$ atau C_{6v} . Pemalar – pemalar kisi ialah $a = 3.25 \text{ \AA}$ dan $c = 5.2 \text{ \AA}$, maka nisbah pemalar didapat $c/a \sim 1.60$ mendekati nilai sesuai untuk sel struktur segi enam $c/a = 1.633$. Seperti kebanyakan bahan II – VI, ikatan tenaga dibahan ZnO, sebahagian besarnya ialah ikatan ionik, yang menjelaskan bahawa piezoelektrik adalah bahan yang kukuh.

Disebabkan satah ikatan ionik, zink dan oksigen, maka bahan ZnO mengandungi caj elektrik (masing – masing caj positif dan negatif). Oleh itu, untuk mengekalkan keneutralan caj elektrik, satah – satah tersebut dibina semula diperingkat atom dalam beberapa bahan, tetapi bukan dalam bahan ZnO: permukaan bahan secara atom berbentuk rata, stabil dan menunjukkan tidak adanya pembinaan semula. Hal ini merupakan anomali ZnO yang tidak dijelaskan sepenuhnya.



Rajah 5.1 Struktur Kristal ZnO

5.2.3 Sifat – Sifat Elektronik ZnO

ZnO mempunyai sela jalur yang lebih besar iaitu 3.3 eV pada suhu bilik sehingga ZnO tulen bersifat tidak berwarna dan telus. Kelebihan yang berkaitan dengan sela jalur yang besar termasuk kerosakan voltan yang tinggi, keupayaan untuk mengekalkan medan elektrik yang besar, kebisingan elektronik yang rendah, dan suhu yang tinggi, serta operasi kuasa yang tinggi. Celah jalur ZnO selanjutnya dapat ditala dari 3 – 4 eV dengan cara pengaloiian dengan bahan magnesium oksida atau kadmium oksida. Kebanyakan bahan ZnO mempunyai watak jenis – n, walaupun tidak ada pendopan keatas bahan tersebut. Kecacatan asli seperti kekosongan oksigen atau celah – celah zink selalu dianggap sebagai permasalahan utama, tetapi perkara ini masih dalam perbincangan penyelidikan. Sebuah penjelasan pilihan telah dicadangkan, berasaskan pengiraan teori. Pengkawalan pendopan jenis – n mudah dicapai dengan menggantikan Zn dengan kumpulan III unsur Al, Ga, In ataupun menggantikan oksigen dengan kumpulan VII unsur Klorin atau Iodin.

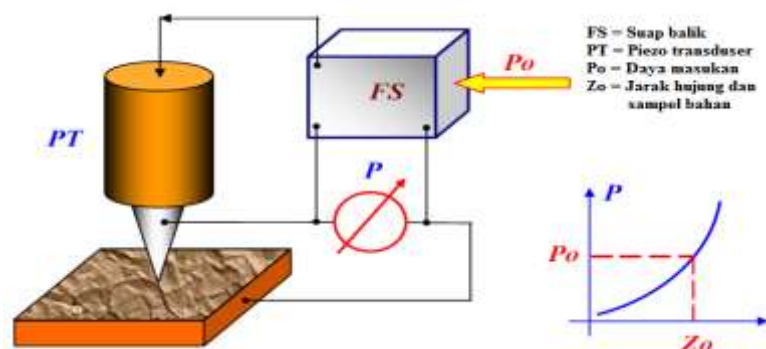
Masalah ini berasal dari kelarutan yang rendah keatas pendopan jenis – p dan penggantian bahan tersebut dengan jenis – n bersifat tidak tulen. Hal ini penting bukan sahaja untuk ZnO, tetapi juga untuk bahan serupa GaN dan ZnSe. Ketiadaan semasa jenis – p bahan ZnO tidak menghadkan penggunaan dalam elektronik dan optoelektronik yang biasa memerlukan hubungan bahan jenis – n dan jenis – p. Seperti

diketahui bahawa pendopan jenis – p termasuk unsur kumpulan – I adalah Li, Na, K, kumpulan – V adalah unsur N, P dan As; serta tembaga dan perak. Walaubagaimanapun, kebanyakan penerima bentuk bahan – bahan ini tidak menghasilkan pengalir jenis – p pada suhu bilik. Pergerakan suhu elektron ZnO sangat berbeza dan mempunyai pergerakan $\sim 2000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ pada ~ 80 Kelvin. Data pergerakan lubang elektron adalah terhad dengan nilai julat $5 - 30 \text{ cm}^2/\text{V.s}$.

5.3 ANALISIS PERMUKAAN ZnO MENGGUNAKAN MIKROSKOP KUAR PENGIMBAS (MKP)

Analisis sebuah permukaan jasad timbulmikro dan sifat – sifatnya dilakukan dengan mikroskop kuar pengimbas (MKP) menggunakan hujungkuar yang disediakan khas dalam bentuk jarum. Saiz bahagian kerja hujung kuar tersebut (saiz puncak) ialah kira – kira sepuluh nanometer. Jarak permukaan hujung biasanya dalam kuar mikroskop kira – kira $0.1 \sim 10 \text{ nm}$ (Mironov 2004). Pelbagai interaksi hujung dengan permukaan telah diusahakan dalam pelbagai jenis kuar mikroskop.

Sebagai satu contoh adalah mikroskop terowong berdasarkan fenomena arus terowong antara jarum logam dan sampel bahan bersifat penghantar, pelbagai jenis daya interaktif mendasari kerja daya atom, daya magnet dan mikroskop daya elektrik. Kita akan mengambil kira ciri – ciri biasa yang wujud untuk pelbagai kuar mikroskop. Maka interaksi hujung dengan permukaan dicirikan oleh beberapa parameter P . Jika hujung berbentuk cukup tajam dan unik (bernilai tunggal) bergantung pada $P = P(z)$ parameter jarak hujung terhadap sampel bahan. Sebuah gambarajah sistem swap balik dalam MKP ditunjukkan pada rajah 5. 2.



Rajah 5.2 Gambarajah sistem swap balik pada sebuah kuar mikroskop (Mironov 2004)

Sistem swap balik menjaga nilai berterusan daripada parameter P (atau sama dengan nilai P_0 , nilai yang ditetapkan oleh pengendali). Jika terjadi perubahan jarak hujung dengan sampel bahan, maka terjadi pula perubahan dalam parameter P .

Dalam sebuah sistem isyarat swap balik dikuatkan dan diberikan kepada pemindaharuh piezo (PT – piezo transducer) yang mengawal pemisahan hujung dengan sampel bahan. Pemindaharuh menggunakan isyarat ΔP untuk merubah pemisahan tersebut dan membawa perubahan ini kepada nilai awal, dimana hubungan sebuah perbezaan isyarat mendekati sifar. Maka, perubahan isyarat adalah mungkin untuk mengawal jarak hujung terhadap sampel bahan dengan ketepatan yang tinggi. Dalam kuar mikroskop sedia ada, ketepatan keatas kawalan jarak hujung dan permukaan bahan mencapai nilai $\sim 0.01 \text{ \AA}$ (Mironov 2004). Semasa pergerakan hujung sepanjang permukaan topografi sampel bahan akan mendorong perubahan dalam interaksi parameter P .

Sistem suap balik mengembalikan nilai yang ditetapkan bagi jarak hujung dan sampel bahan (iaitu interaksi parameter P_0) dalam masa sebenar, supaya apabila hujung dianjakkan ke titik (x,y) ke atas sampel bahan maka isyarat $V(x,y)$ yang diberikan pemindaharuh berkadar dengan isyarat tempatan yang pergi dari permukaan bahan pada satah unggul x, y ($z = 0$). Hal ini membuat kemungkinan untuk menggunakan nilai $V(x,y)$ untuk membuat peta topografi permukaan, penambahan (pengimbasan garis), maka nilai isyarat yang diberikan ke pemindaharuh, sesuai dengan tinggi nilai pada topografi permukaan, serta dicatat dalam memori komputer. Kemudian hujung kuar kembali ke titik dan langkah awal untuk pengimbasan garis selanjutnya (pengimbasan kerangka) dan proses ini diulang semula.

Isyarat suap balik semasa pengimbasan diproses oleh komputer dan kemudian imej topografi permukaan MKP ialah $z = f(x,y)$ digambarkan dengan cara grafik komputer. Disamping itu, dengan siasatan sampel topografi, kuar mikroskop boleh mengkaji pelbagai sifat mekanikal seperti permukaan elektrik, magnetik, optik dan permukaan lainnya.

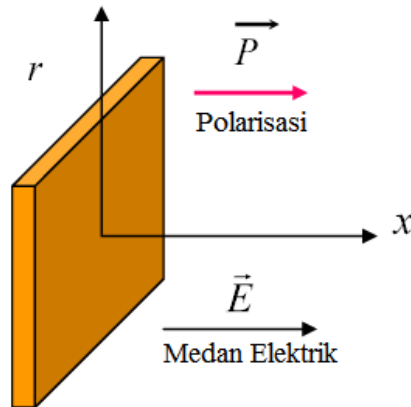
5.3.1 Unsur – Unsur Pengimbas

Unsur – unsur pengimbas diperlukan untuk mengawal jarak kerja hujungkuar dengan sampel, serta untuk menggerakkan hujung kuar keatas permukaan sampel dengan ketepatan yang tinggi (pada tingkat bahagian angstrom), serta untuk membuat kuar mikroskop bekerja dengan baik. Masalah ini diselesaikan dengan bantuan pemindaharuh khas, atau pengimbas. MKP dibuat daripada bahan piezoelektrik. Bahan piezoelektrik menukar saiz mereka dalam medan elektrik luaran. Persamaan songsang piezoelektrik untuk Kristal adalah seperti berikut;

$$U_{ij} = d_{ijk}E_k \quad (5.1)$$

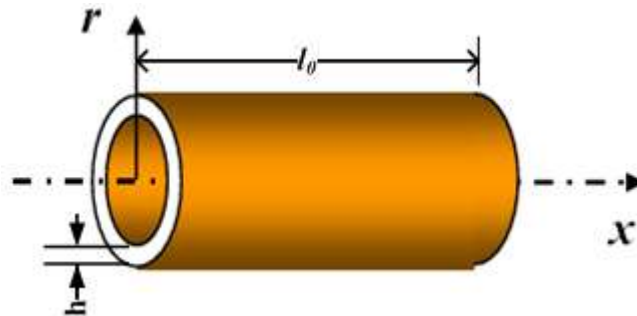
dimana U_{ij} adalah tensor ubah bentuk, E_k adalah komponen medan elektrik, d_{ijk} adalah komponen tensor, piezoelektrik. Pekali piezoelektrik ditakrifkan sebagai bahan jenis penghablur.

Pemindaharuh dibuat daripada bahan piezoseramik dan digunakan secara meluas dalam pelbagai penggunaan teknikal. Piezoseramik ialah bahan polarisasi penghablur diperolehi dengan pembakaran serbuk dari penghablur ferroelektrik. Polarisasi seramik dilakukan seperti berikut; seramik dipanaskan pada suhu Curie T_c (sebahagian besar piezoseramik $T_c < 300^{\circ}\text{C}$), dan kemudian ia perlahan – lahan disejukkan dalam medan elektrik yang kuat (kira – kira 3 kV/cm). Selepas penyejukan suhu dibawah T_c , piezoseramik mengekalkan polarisasi teraruh dan mendapat keupayaan untuk menukar saiz mereka (dengan meningkatkan dan mengurangkan saiz bergantung kepada arah yang bersamaan antara vektor polarisasi dan vektor medan elektrik gunaan). Ciri – ciri asas bahan seramik yang digunakan pada peralatan teknikal boleh ditemui dalam buku (Team-Editor 2010). Tensor piezoelektrik untuk piezoseramik mempunyai tiga pekali, tidak mempunyai nilai nol: d_{33} , d_{31} , d_{15} digambarkan secara longitud, bersilangan (berkenaan dengan vektor polarisasi) dan ubah bentuk anjakan. Kita menganggap plat piezoseramik berbentuk rata (rajah 5. 3) pada sebuah bidang luar.



Rajah 5.3 Plat piezoseramik dalam sebuah medan elektrik luar(Mironov 2004)

Tiub piezoelement (raja 5. 4) banyak digunakan secara meluas dalam MKP. Peranti ini boleh mendapatkan gerakan yang cukup besar dengan kawalan voltan yang kecil. Piezoelement adalah tiub berongga silinder berdinding nipis dengan elektrod (lapisan logam nipis), bersalut pada permukaan tiub dalaman dan luaran, dan permukaan bahagian hujung tiub ditutup dengan secara kekal.



Rajah 5.4 Tiub Piezoelement (Mironov 2004)

Dibawah pengaruh perbezaan keupayaan antara perubahan panjang tiub daripada elektrod dalaman dan luaran tiub. Ubahbentuk longitud relatif dibawah pengaruh jejarian medan elektrik dapat dituliskan sebagai persamaan,

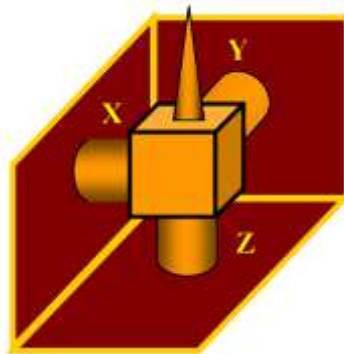
$$U_{xx} = \frac{\Delta x}{l_0} = d_{\perp} E_r \quad (5.2)$$

dimana l_0 adalah panjang tiub tidak bertekanan, E_r adalah medan elektrik satah-r. Panjang sepenuhnya tiub – piezo dituliskan dalam persamaan,

$$\Delta x = d_{\perp} \frac{l_0}{h} V \quad (5.3)$$

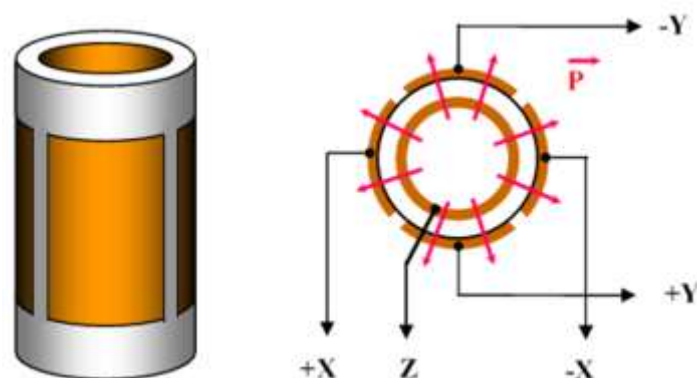
dimana h adalah ketebalan dinding tiub, V adalah perbezaan keupayaan antara elektrod dalam dan luar. Maka, untuk penggunaan voltan yang sama, pemanjangan tiub akan menjadi lebih besar, untuk masa lebih lama dan penipisan tiub.

Pemasangan tiga tiub dalam satu unit (rajah 5.5) membolehkan untuk menghasilkan pergerakan yang tepat dalam tiga arah serenjang. Unsur imbasan ini dirujuk sebagai tripod.



Rajah 5.5 Unsur imbasan sebagai tripod dibina menggunakan unsur – piezo tubular (Mironov 2004)

Kelemahan pengimbas tersebut adalah pembuatan alat yang rumit dan struktur ketidakseimbangan yang kuat. Pada masa sekarang, pengimbas yang dibuat daripada satu unsur tiub telah digunakan secara meluas dalam siasatan mikroskop pengimbas. Struktur tiub pengimbas dan susunan elektrod dibentangkan dalam rajah 5.6. Polarisasi vektor merupakan arah jejari.

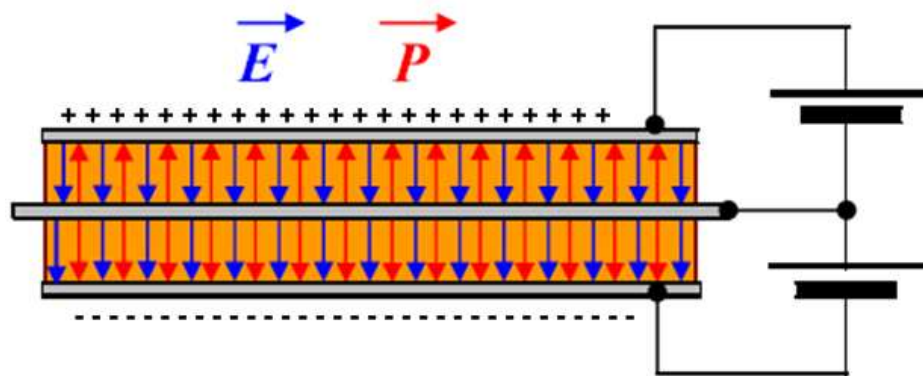


Rajah 5.6 Imbasan – piezo tubular (Mironov 2004)

Elektrod dalaman biasanya berterusan. Elektrod luar dibahagikan dengan silinder *generatrixes* kepada empat bahagian. Apabila voltan berbeza – mod digunakan pada

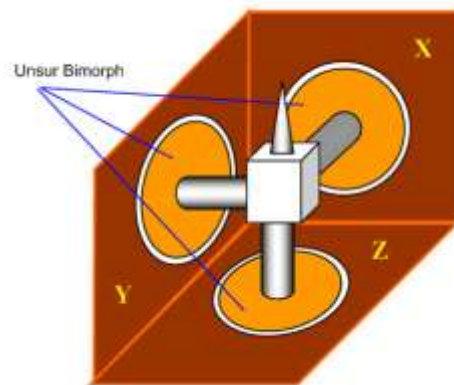
bahagian yang bertentangan dengan elektrod luaran (berkenaan dengan elektrod dalaman) sebahagian daripada panjang tiub dikurangkan (dimana hala bidang bertepatan dengan arah polarisasi), dan dinaikkan (dimana bidang dan arah polarisasi saling bertentangan). Keadaan ini membuat tiub menjadi bengkok. Untuk mengimbas dalam satah X dan Y, maka cara ini dilakukan. Perubahan potensi elektrod dalaman berhubung dengan semua hasil bahagian luar untuk melakukan pemanjangan tiub atau pemendekkan tiub sepanjang paksi Z. Maka, ia adalah untuk melakukan pengimbasan tiga paksi berdasarkan satu tiub – piezo. Unsur – unsur imbasan nyata sering mempunyai struktur yang lebih rumit, namun cara kerja pengimbasan tetap sama.

Pengimbasan berasaskan pada sel bimorph juga telah digunakan secara meluas. Bimorph dibuat daripada dua plat bahan piezoelektrik yang telah melekat bersama – sama dengan vektor polarisasi bertentangan seperti yang ditunjukkan dalam rajah 5.7. Jika voltan yang digunakan untuk elektrod bimorph (unsur habur dua bentuk), seperti yang ditunjukkan dalam rajah 5.7, maka salah satu plat akan memanjang dan yang lainnya akan dimampatkan, sehingga menyebabkan bengkok keseluruhan unsurnya. Dalam pembinaan sebenar elemen bimorph, terdapat perbezaan potensi antara elektrod dalaman bersama dan elektrod luaran dihasilkan supaya dalam satu unsur bidang bertepatan dengan arah vektor polarisasi, dan unsur lain yang mempunyai arah yang bertentangan.



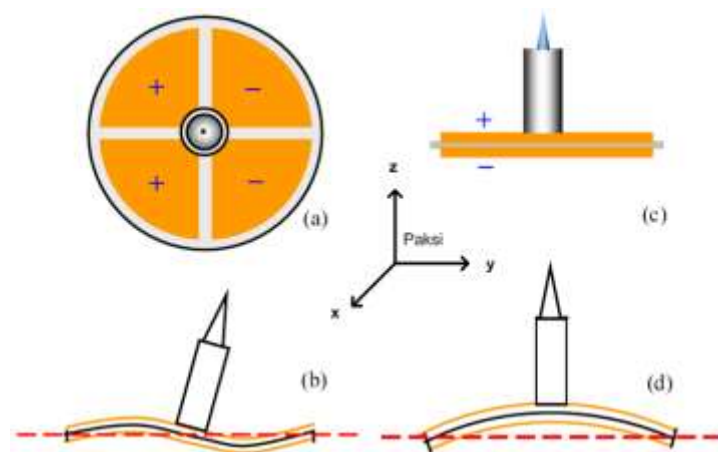
Rajah 5.7 Struktur Sell Bimorph(Mironov 2004)

Sel bimorph membengkok dibawah pengaruh medan elektrik ianya adalah mekanisme kerja pengimbas piezo – bimorph. Dengan menggabungkan tiga unsur bimorph dalam satu peranti, memungkinkan untuk melaksanakan sebuah tripod (Rajah 5. 8).



Rajah 5.8 Imbasan tiga – paksi dibuat daripada tiga unsur bimorph (Mironov 2004)

Jika elektrod luaran daripada elemen bimorph dibahagikan ke dalam empat bahagian, maka ia adalah untuk menggerakkan sebuah batang (contohnya memegang sebuah hujung) sepanjang paksi Z dan satah X, Y dengan menggunakan unsur bimorph tunggal.



Rajah 5.9 Skim mewakili daripada mekanismakerja pengimbas – piezo bimorph (Mironov 2004)

Sesungguhnya, menggunakan voltan berbeza – mod pada pasangan yang bertentangan dengan elektrod bahagian luar membuat pembengkokan bimorph, sehingga hujung bergerak dalam arah paksi z (Rajah 5.9 (c. d)).

5.3.2 Kaedah Pengimbas Purata TFC (Transformasi Fourier Cepat)

Dua fungsi pekali diskrit yang sedia ada iaitu pada satah koordinat X dan Y, kaedah purata TFC memberikan arah purata (X atau Y) atau purata – F_x dan purata – F_y daripada sumber data TFC diskrit 1-dimensi. Skala berikut ini disediakan untuk

menggambarkan pengiraan spektrum dalam kaedah TFC dan mempunyai matlamat khas lainnya, iaitu (Team-Editor 2010);

1. Teknik Spektrum modulus (modulus fungsi purata – Fx atau purata – Fy).
2. Teknik Spektrum Kuasa (SK – X atau SK – Y).
3. Teknik Punca kuasa dua daripada spektrum modulus.
4. Teknik Logaritma (semulajadi atau desimal) daripada spektrum kuasa.
5. Teknik Ketumpatan spektrum kuasa (KSK – X atau KSK – Y).

Puncak pertama dalam hasil purata lengkungan TFC boleh dikesan, kemudian kedudukan koordinat ditapis, dan hubungan panjang kepada puncak ini dipaparkan bersama – sama dengan kedudukan puncak yang terkesan.

Purata hasil kaedah TFC dengan pengiraan fourier diskrit 1D mengubah setiap segmen X atau Y bergantung kepada pilihan arah. Sebuah bahagian transformasi fourier diskrit (TFD) 1D $Fx(m, v_k)$ ($Fy(m, v_q)$) daripada sumber data yang ditetapkan $z(X_n, Y_m)$ ditakrifkan pada petakan $N_x \times N_y$ sepanjang bahagian ke-m dalam arah X(Y) diambil sebagai persamaan,

$$\begin{aligned}
 Fx(m, v_k) &= \frac{1}{N_x} \sum_{n=0}^{N_x-1} Z(X_n, Y_m) \exp(-i2\pi X_n v_k) \\
 &= \frac{1}{N_x} \sum_{n=0}^{N_x-1} Z(X_n, Y_m) \exp\left(-i2\pi \left(\frac{kn}{N_x}\right)\right)
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

$$\begin{aligned}
 Fy(n, u_q) &= \frac{1}{N_y} \sum_{m=0}^{N_y-1} Z(X_n, Y_m) \exp(-i2\pi Y_m u_q) \\
 &= \frac{1}{N_y} \sum_{m=0}^{N_y-1} Z(X_n, Y_m) \exp\left(-i2\pi \left(\frac{qm}{N_y}\right)\right)
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

dimana titik petakan diandaikan mempunyai jarak yang sama dengan pemisahan L_x dalam X dan L_y dalam arah Y maka bentuk saiz segiempat $L_x \times L_y$; jumlah n dan m

daripada bahagian transformasi 1D menghasilkan nilai julat $n = 0, 1, 2, \dots N_x - 1$ dan $m = 0, 1, 2, \dots N_y - 1$;

$$v_k = k \frac{1}{L_x}, u_q = q \frac{1}{L_y} \text{ merupakan frekuensi ruang dalam arah X dan Y } (5.6)$$

$$\Delta v_k = \frac{1}{L_x}, \Delta u_q = \frac{1}{L_y} \text{ merupakan ketambahan hubungan frekuensi } (5.7)$$

Jumlah segmen pada arah X sama dengan jumlah titik pada segmen Y dan begitudengan jumlah segmen pada arah Y sama dengan jumlah titik pada segmen Z. Spektrum $Fx(m, v_k)$ dan $Fy(n, u_q)$ dikira dengan menggunakan algoritma TFC.

Purata spektrum fourier dikira dengan purata $Fx(m, v_k)$ atau $Fy(n, u_q)$ keatas segmen yang berhubungan. Secara tertulis, purata spektrum fourier dalam arah X (Purata – Fx) diberikan dengan persamaan(Mironov 2004):

$$\begin{aligned} \text{Purata} - Fx &= C_x(v_k) = \frac{1}{N_y} \sum_{m=0}^{N_y-1} Fx(m, v_k) \\ &= \frac{1}{N_y} \sum_{m=0}^{N_y-1} \frac{1}{N_x} \sum_{n=0}^{N_x-1} Z(X_n, Y_m) \exp(-i2\pi X_n v_k) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Purata spektrum fourier dalam arah Y (Purata – Fy) diberikan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Purata} - Fy &= C_y(u_q) = \frac{1}{N_x} \sum_{n=0}^{N_x-1} Fy(n, u_q) \\ &= \frac{1}{N_x} \sum_{n=0}^{N_x-1} \frac{1}{N_y} \sum_{m=0}^{N_y-1} Z(X_n, Y_m) \exp(-i2\pi Y_m u_q) \end{aligned} \quad (5.9)$$

Kedua spektrum purata – F_x dan purata – F_y adalah bernilai kompleks:

$$\begin{aligned} \text{Purata} - F_x &= \text{Re}(\text{Purata} - F_x) + i\text{Im}(\text{Purata} - F_x) = C_x(v_k) \\ &= |C_x(v_k)| \exp(i \arg C_x(v_k)) \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Purata} - F_y &= \text{Re}(\text{Purata} - F_y) + i\text{Im}(\text{Purata} - F_y) = C_y(u_q) \\ &= |C_y(u_q)| \exp(i \arg C_y(u_q)) \end{aligned} \quad (5.11)$$

dimana i berdiri untuk unit imajinasi, $\text{Re}(\ast)$ dan $\text{Im}(\ast)$ melambangkan bahagian nyata dan imajinasi daripada hujah persamaan diatas. Purata spektrum modulus untuk arah yang khas ditakrifkan sebagai modulus purata spektrum fourier dalam arah yang telah ditentukan:

$$|C_x(v_k)| = |\text{Purata} - F_x| \quad (5.12)$$

$$|C_y(u_q)| = |\text{Purata} - F_y| \quad (5.13)$$

Purata spektrum kuasa ($SK - X$ dan $SK - Y$) ditakrifkan sebagai modul kuasa dua daripada purata spektrum fourier yang berkaitan:

$$SK - X = |C_x(v_k)|^2 = |\text{Purata} - F_x|^2 \quad (5.14)$$

$$SK - Y = |C_y(u_q)|^2 = |\text{Purata} - F_y|^2 \quad (5.15)$$

Untuk fungsi purata ketumpatan kuasa spektrum ($KSK - X$ dan $KSK - Y$) ditakrifkan sebagai persamaan:

$$KSK - X = \frac{|C_x(v_k)|^2}{\Delta v_k} = \frac{|C_x(v_k)|^2}{1/L_x} = \frac{KS - X}{1/L_x} \quad (5.16)$$

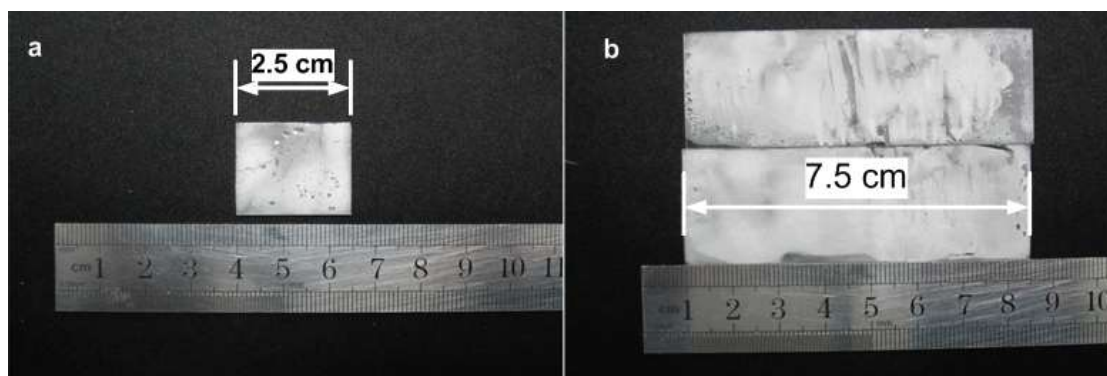
$$KSK-Y = \frac{|C_y(u_q)|^2}{\Delta v_k} = \frac{|C_y(u_q)|^2}{1/L_y} = \frac{KS-Y}{1/L_y} \quad (5.17)$$

5.4 PENGUJIAN BAHAN

Pada pengujian bahan ZnO dilakukan dengan menggunakan mikroskop kuar pengimbas (MKP) jenama NTEGRA AURA (NT-MDT) seperti dapat dilihat pada rajah 5. 10(a) dan Rajah 5. 10(b) menunjukkan bahagian tempat peletakan sampel yang akan diuji. Rajah 5.11(a) menunjukkan saiz 2.5 cm x 2.5 cm sampel ZnO yang telah diletakkan pada substrat kaca. Saiz 2.5 cm x 2.5 cm ialah nilai yang diharapkan supaya dapat diletakkan pada meja uji mikroskop. Untuk Rajah 5.11(b) ialah saiz substrat yang belum dipotong dengan panjang 7.5 cm dan lebar 2.5 cm.



Rajah 5.10 NTEGRA AURA mikroskop kuar pengimbas, (a) Tampak hadapan, dan (b). Tempat meletakkan bahan sampel ZnO



Rajah 5.11 Sampel ZnO diatas substrat kaca

Jadual 5.1 Spesifikasi MKP NTEGRA AURA

Spesifikasi		Jenis Pengimbasan	
		Menggunakan sampel	Menggunakan kuar
Saiz sampel		diatas Ø 40mm, tinggi sampel diatas 15mm	diatas Ø 100mm, tinggi sampel diatas 15mm
Berat sampel		diatas 100 g	diatas 300 g
Julat peletakan sampel XY, resolusi		5 x 5 mm, 5 µm	
Kepekaan posisi		2 µm	
Julat Imbasan		100 x 100 x 10 µm 3 x 3 x 2.6 µm	50 x 50 x 5 µm
		diatas 150 x 150 x 15 µm (moda dual-imbasan)	
Ketidaklinearan XY Dengan pengesan litar tertutup		≤ 0.1%	≤ 0.15%
Tingkat kebisingan, Z (RMS dalam jalur lebar 1000 Hz).	dengan pengesan	0.04 nm (tipikal) ≤ 0.06 nm	0.06 nm (tipikal) ≤ 0.07 nm
	tanpa pengesan	0.03 nm	0.05 nm
Tingkat kebisingan, XY(RMS dalam jalur lebar 200 Hz).	dengan pengesan	0.2 nm (tipikal) ≤ 0.3 nm (XY 100 um)	0.1 nm (tipikal) ≤ 0.2 nm
	tanpa pengesan	0.02 nm (XY 100 um) 0.001 nm (XY 3 um)	0.01 nm
		Tingkat kebisingan XY (RMS dalam jalur lebar 200 Hz)	
	Kesetaraan gelung tertutup	Tingkat kebisingan Z (RMS dalam jalur lebar 1000 Hz)	0.02 nm

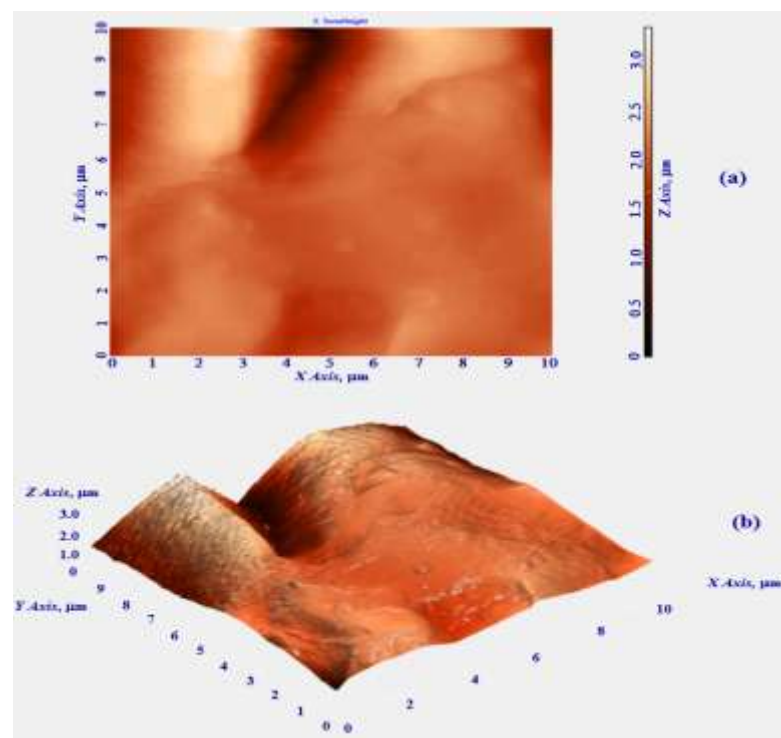
bersambung...

...sambungan

	Ketepatan zum	5% (tipikal)	
Sistem penglihatan optik	Ketepatan optik	1 μm	3 μm
	Luas penglihatan	4.5 – 0.4 mm	2.0 – 0.4 mm
	Zum keselajaran	Sedia ada	Sedia ada
Kawalan suhu	Julat	dari RT sampai dengan +150 ⁰ C	
	Kestabilan	$\pm 0.005^0\text{C}$ (tipikal), $\leq \pm 0.01^0\text{C}$	
Sistem Vakum	Tekanan	10^{-2} Torr	
Isolasi gegaran	Aktif	0.7 – 1000 KHz	
	Pasif	diatas 1 KHz	

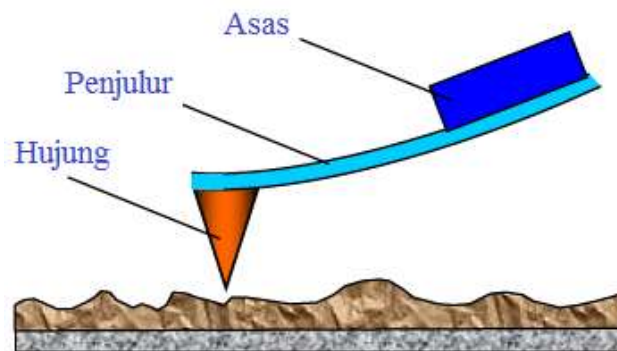
Jadual 5.1 memberikan maklumat spesifikasi MKP NTEGRA AURA. Di dalam pengimbasan Rajah 5.12 berikut ini adalah hasil pengimbasan daripada MKP keatas bahan ZnO yang diuji dengan meletakkan bahan tersebut diatas substrat kaca. Peletakkan bahan ZnO diatas substrat bertujuan untuk melihat ciri permukaan dan kekasaran permukaan

Rajah 5.12 dibawah ini diambil pada jarak pengambilan gambar permukaan sebesar 3.336 μm . Jarak pengambilan dikira berasaskan jarak hujung kuar pengimbas dan bahan sampel ZnO, seperti yang digambarkan pada rajah 5.13.



Rajah 5.12 Bentuk sampel ZnO dengan luas 10 x 10 x 3.336 μm ; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D

Rajah 5.13 dibawah ini menunjukkan bahawa hujung pengimbas terletak pada julur. Hujungkuar akan bergerak sesuai dengan permukaan bahan yang diuji. Cara pengimbasan menggunakan hujung ini telah digunakan secara luas pada Mikroskop Daya Atom (Maddu et al.) yang dicipta pada tahun 1986 oleh Gerd Binnig, Calvin F. Quate dan Christopher Herber (Binnig et al. 1986).

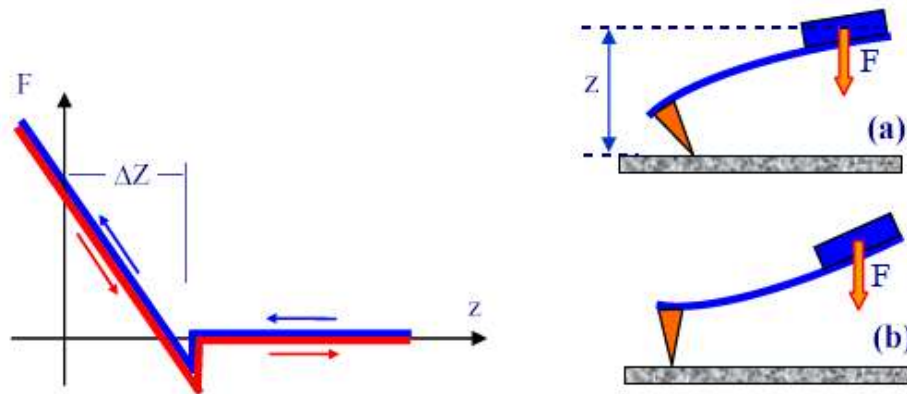


Rajah 5.13 Skema Kuar MDA

Cara kerja MKP adalah pengukuran daya interaktif antara hujung kuar dan permukaan bahan menggunakan kuar khas yang dibuat daripada julur anjal dengan hujung yang tajam. Daya yang dikenakan ke hujung kuar oleh permukaan merupakan hasil pembengkokan penjulus. Mengukur bengkokan julur ini, maka kita boleh mendapatkan nilai daya interaktif hujung – permukaan bahan.

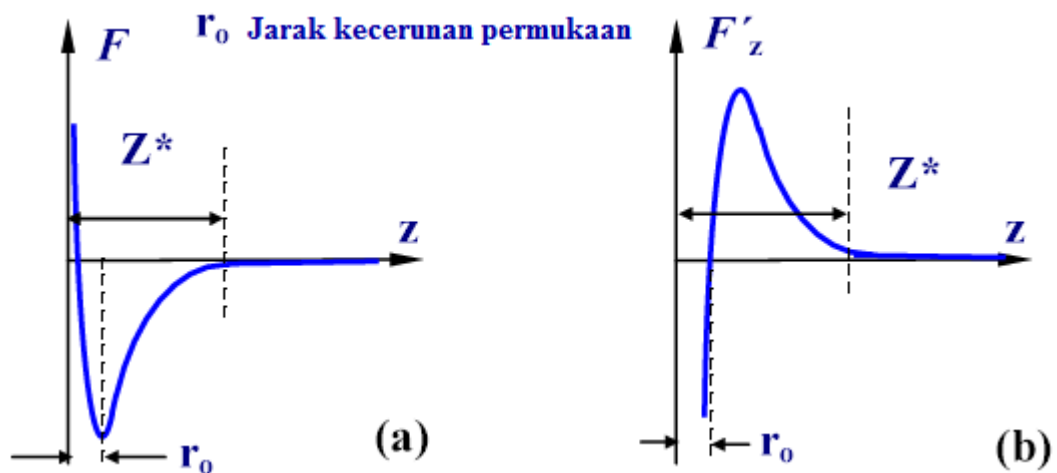
5.4.1 Pengukuran Julur Berasas Jarak Hujung dan Sampel

Dengan mikroskop daya atom, ianya boleh mengkaji ciri – ciri terperinci daripada interaksi daya tempatan, serta hasil maklumat tentang sifat – sifat permukaan sampel. Matlamat ini yang disebut lengkung jarak – daya atom (hujung akan menghampiri kepada atau menarik balik dari permukaan sampel). Sebenarnya pergerakan hujung bersandar daripada julur lentur ΔZ (akibat pergerakan ini ialah adanya interaksi daya) pada paksi – z, iaitu pada jarak siasatan – sampel. Bentuk $\Delta Z = f(z)$ ditunjukkan dalam Rajah 5. 14.



Rajah 5.14 Skematik pesongan julur ΔZ (berkadar dengan daya yang dikenakan F) berbanding jarak z kuar – sampel. Warna biru : penghampir warna merah : penarik balik (Mironov 2004)

Dalam pendekatan untuk permukaan hujung kuar mendapat daya tarikan. Ini menyebabkan bengkokan julur ke permukaan sampel (Rajah 5. 14, pada bahagian (a)). Gerakan hujung kuar ke permukaan disebabkan oleh kecerunan besar daripada daya tarikan yang berhampiran dengan permukaan sampel. Untuk jenis julat daya tarikan Lennard – Jones Z^* , dimana kecerunan F'_z yang tinggi, kira – kira 1 nanometer. Kelakuan daya Lennard – Jones dan terbitan yang berkenaan dengan jarak hujung dan permukaan skema ditunjukkan dalam rajah 5. 15.



Rajah 5.15 Rajah skematik daya (a) dan kecerunan daya (b) sebagai fungsi jarak z antara hujung kuar dan permukaan bahan

Gerakan hujung kuar ke permukaan bahan boleh diselidik hanya ketika pemalar elastik julur sangat kecil daripada daya kecerunan maksimum. Hal ini dapat dijelaskan

dengan mempertimbangkan persamaan tertib kedua gerakan suatu julur anjal yang berhampiran dengan permukaan bahan uji:

$$mz''_1 = -kz_1 + F(d + z_1) \quad (5.18)$$

dimana d ialah jarak hujung kuar – permukaan bahan dalam keadaan seimbangan, dan z_1 anjakan dari kedudukan keseimbangan, $F(z)$ ialah kuasa interaksi hujung – permukaan bahan, k dan m adalah pemalar anjal julur dan jisim. Dengan menggunakan penghampiran fungsi linear $F(z)$, kita akan mendapat persamaan,

$$F = F(d) + F'_z(d) \cdot z_1 \quad (5.19)$$

$$mz''_1 + [k - F'_z(d)]z_1 = F(d) \quad (5.20)$$

dengan penggantian, $z_2 = z_1 - \frac{F(d)}{k - F'_z(d)}$, persamaan gerak mengambil bentuk :

$$z''_2 + \omega_0^2 z_2 = 0 \quad (5.21)$$

$$\omega_0^2 = \frac{k - F'_z(d)}{m} \text{ dimana } F'_z \text{ ialah kecerunan permukaan}$$

Bentuk ini, menjelaskan bahawa frekuensi pengayun ω_0 , bergantung pada jarak d . Jika kecerunan daya dimana – mana jarak yang lebih besar daripada pemalar anjal julur, maka $\omega_0^2 < 0$. Keadaan ini sepadan dengan kedudukan keseimbangan yang tidak stabil daripada sebuah bandul terbalik. Sebarang keputusan gangguan kecil daripada hilangnya kestabilan dan julur akan bergerak ke permukaan bahan.

Dalam pendekatan kuar kepada sampel bahan itu, hujung kuar mula mengalami kuasa tolakan, dan selekoh julur dalam arah bertentangan (Rajah 5.15, memasukkan (b)). Cerun keluk $\Delta Z = f(z)$ dikawasan ini ditentukan oleh sifat – sifat keanjalan kedua – dua sampel dan julur. Jika interaksi anjal sempurna, pergantungan selekoh pada jarak yang dicatatkan ketika gerakan terbalik, bertepatan dengan pergantungan yang diperolehi semasa gerakan ke hadapan (Rajah 5.14). Untuk bahan sampel lembut (plastik), seperti bahan – bahan organik, struktur biologi dan lain – lain, serta untuk sampel dengan lapisan terjepap daripada pelbagai bahan, maka bentuk

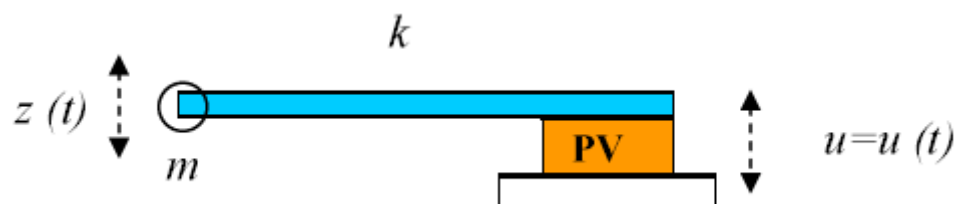
keluk $\Delta Z = f(z)$ adalah kompleks. Dalam kes ini, bentuk keluk dipengaruhi oleh kesan kapilari dan kesan kekenyalan.

Pada lampiran G merupakan hasil pengukuran julur berasaskan jarak hujung dan sampel yang didapatkan daripada mikroskop daya atom. Rajah pada lampiran G – 1 sehingga G – 10 memberikan angka bererti yang sangat tinggi apabila permukaan lapisan datar membentuk pemantulan cahaya yang seragam serta melekatkan bahan lapisan ZnO dengan gentian optik plastik. Begitupula dengan proses perubahan bentuk kerana tekanan udara yang berubah – ubah, jika lapisan ZnO yang tidak seragam akan memerlukan masa yang lama untuk kembali dalam keadaan awal atau keadaan normal. Pada keadaan khas, keadaan permukaan boleh merosakkan atau menghancurkan lapisan ZnO kerana tidak seragam.

5.4.2 Pengukuran Julur Berasas Fasa

Pengukuran ini dilakukan berasaskan fasa gerak julur. Penerangan sebenar ayunan julur Mikroskop Daya Atom (Maddu et al.) merupakan satu tugas matematik kompleks. Walau bagaimanapun, ciri – ciri asas proses yang berlaku semasa interaksi daripada julur berayun dengan permukaan yang boleh difahami berdasarkan model asas, khususnya, dengan menggunakan model penghampiran masa setempat (Sarid 2007).

Anggaran julur ditetapkan sebagai sebuah rasuk anjal tanpa jisim (dengan pemalar elastik k ialah tetap), ditetapkan pada satu hujung piezo – penggetar PV, serta masa- m setempat pada hujung yang lain (Rajah 5.16).



Rajah 5.16 Model kuar sebagai sebuah julurelastik dengan sebuah jisim pada bahagian hujung(Mironov 2004)

Getaran-piezo mengayun dengan ω kekerapan:

$$u = u_0 \cos(\omega t) \quad (5.22)$$

kemudian, persamaan gerak daripada sistem kuar tersebut adalah,

$$m\ddot{z} = -k(z - \ddot{u}) - \gamma\dot{z} + F_0 \quad (5.23)$$

dimana bahagian $\gamma\dot{z}$ berkadar dengan terbitan pertama, mengambil kira daya likat di udara dan mengambil kira daya graviti serta kuasa lain – lain secara berterusan. Satu daya berterusan hanya bertukar kedudukan sistem keseimbangan dan tidak mempengaruhi kekerapan, amplitud dan fasa ayunan. Oleh itu, dengan penggantian yang berubah – ubah:

$$z = z_1 + \frac{F_0}{k} \quad (5.24)$$

Persamaan gerakan untuk z_1 anjakan dari kedudukan keseimbangan mengambil bentuk :

$$m\ddot{z}_1 + \gamma\dot{z}_1 + kz_1 = ku_0 \cos(\omega t) \quad (5.25)$$

dengan takrif $\omega_0 = \sqrt{k/m}$, dan memperkenalkan faktor kualiti sistem, $Q = \omega_0 m/\gamma$, dan hasilnya seperti berikut:

$$\ddot{z}_1 + \frac{\omega_0}{Q}\dot{z}_1 + \omega_0^2 z_1 = \omega_0^2 u_0 \cos(\omega t) \quad (5.26)$$

Penyelesaian yang paling mudah didapati dalam domain nombor kompleks η , dengan persamaan dalam bentuk:

$$\ddot{\eta} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{\eta} + \omega_0^2 \eta = \omega_0^2 u_0 e^{-i\omega t} \quad (5.27)$$

dimana i adalah unit imajinasi. Penyelesaian umum adalah tindihan ayunan dibuang dengan susutan $\delta = \omega_0/2Q$ dan ayunan paksa berterusan dengan ω kekerapan. Untuk mengetahui ayunan mantap, penyelesaian harus dilakukan dalam bentuk,

$$\eta = a. e^{-i\omega t} \quad (5.28)$$

Dengan menggantikan persamaan (5) dalam persamaan (4), akan menghasilkan amplitud kompleks a :

$$a = \frac{\omega_0^2 u_0}{\omega_0^2 - \omega^2 - i \frac{\omega \omega_0}{Q}} \quad (5.29)$$

Modul a merupakan amplitud ayunan paksa $A(\omega)$:

$$A(\omega) = \frac{u_0 \omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \frac{\omega^2 \omega_0^2}{Q^2}}} \quad (5.30)$$

Fasa amplitud kompleks a adalah perbezaan fasa $\varphi(\omega)$ antara sistem ayunan dan bahagian daya $u = u_0 \cos(\omega t)$:

$$\varphi(\omega) = \tan^{-1} \left[\frac{\omega \omega_0}{Q(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \quad (5.31)$$

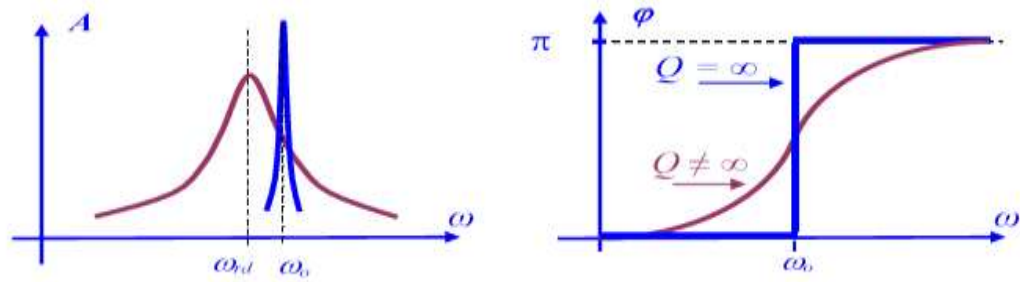
daripada ungkapan (5.30) ia mengikuti bahawa amplitud ayunan hujung $A(\omega_0) = Q u_0$ di ω_0 kekerapan adalah berkadar dengan faktor kualiti. Selain itu, kehadiran pelesapan ($\gamma \neq 0$, iaitu $Q \neq \infty$) di dalam keputusan sistem pada penurunan kekerapan salunan ayunan julur. Sesungguhnya, perbezaanyang radikal berkenaan dengan ω^2 dalam ungkapan persamaan (5.30) dan menyamakan terbitan kepada sifar, akan menghasilkan frekuensi resonansi ω_{rd} .

$$\omega_{rd}^2 = \omega_0^2 \left[1 - \frac{1}{2Q^2} \right] \quad (5.32)$$

Peralihan sistem lesap frekuensi salunan adalah,

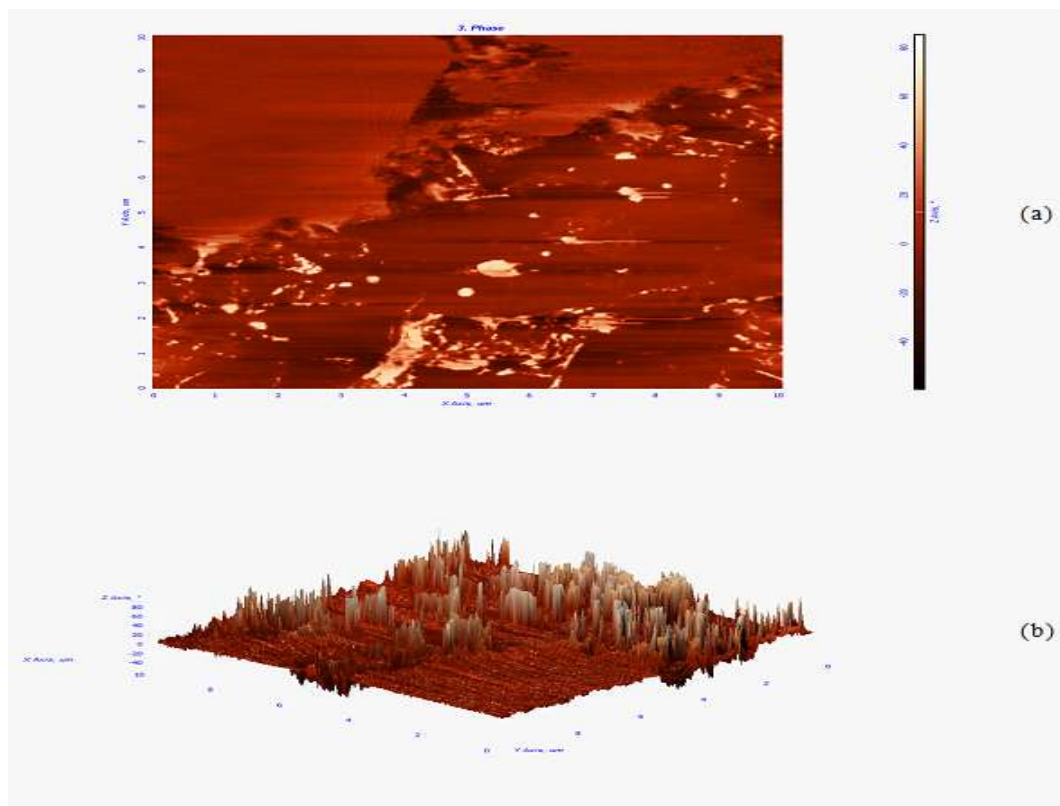
$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega_{rd} = \omega_0 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \right] \quad (5.33)$$

Peningkatkan pelesapan, ciri sistem amplitud frekuensi (keluk respons) beralih kepada frekuensi yang lebih rendah (Rajah 5. 17).



Rajah 5.17 Frekuensi Amplitud dan tindak-balas fasa dalam sebuah sistem dengan lesapan warna biru menunjukkan ciri-ciri sistem non-disipatif (Mironov 2004)

Walau bagaimanapun, bagi nilai-nilai tipikal faktor kualiti rasuk julur di udara, anjakan frekuensi resonan kerana pelesapan adalah kecil. Pengaruh jumlah lesapan pada dasarnya, dengan pengurangan penting dalam amplitud ayunan dan untuk memperluas lengkung sambutan amplitud dan fasa sistem (Rajah 5.17). Rajah 5.18 menunjukkan hasil imej yang diambil dari MKA untuk sampel bahan lapisan ZnO berdasarkan fasa. Hasil yang diterima akan diproses menggunakan perisian IA – Analysis.



Rajah 5.18 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasa dengan luas 10 μm x 10 μm x (-59.0° > x⁰ > 84.7°); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D

Pada lampiran G. 2 menjelaskan hasil yang didapat daripada mikroskop kuasa atom menggunakan teknik pengukuran julur berasas fasa. Fasa permukaan bahan di dapat daripada getaran piezo yang terletak pada bahagian ujung penjulur. Getaran tersebut yang akan dikira sesuai dengan persamaan gerak kuar. Rajah G – 11 sehingga G – 20 menunjukkan hasil yang berbeza – beza daripada luas bahan yang diuji, didalam imej 3-D terlihat bentuk permukaan bahan yang tidak homogen.

5.5 HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGANKAEDAH PENGIMBAS PURATA TFC (FFT)

Morfologi permukaan skala mikro menentukan pelbagai fenomena yang penting untuk sains asas serta aplikasi teknologi. Pada bahagian ini akan dijelaskan hasil kajian berasaskan kaedah – kaedah yang telah ditentukan.

Matlamat kaedah purata TFC ini adalah untuk mengubah fungsi pembolehubah jarak hujung pemerhatian ke dalam fungsi pembolehubah frekuensi atau biasa disebut kekerapan. Setiap penskalaan hasil ukuran TFC akan dilihat daripada nilai maksimum, Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC dalam unit μm , ralat kedudukan hujung kuar dalam unit μm , Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin dalam unit μm serta nilai untuk setiap teknik purata TFC; Ketumpatan Spektrum Kuasa Maksimum, Spektrum Kuasa Maksimum, Spektrum Modulus, Spektrum Magnitud Maksimum dan Spektrum Logaritma Maksimum.

5.5.1 Teknik Ketumpatan Spektrum Kuasa

Jadual 5.2 merupakan hasil simulasi yang diperolehi daripada imbasan bahan uji ZnO. Pengurangan parameter yang digunakan untuk simulasi ini adalah purata, ianya digunakan untuk menentukan prapemprosesan sumber data sebelum digunakan. Sumber data purata dikurangkan daripada data yang digunakan sebelumnya dengan menggunakan kaedah purata TFC. Hasil simulasi dapat dilihat dari simulasi fungsi dua pembolehubah diskrit berasaskan paksi bidang X dan Y untuk jadual 5.2 data yang dihasilkan dari hala X dan jadual 5. 3 dari hala Y.

Pada lajur ketiga merupakan nilai isipadu pemerhatian sampel daripada hasil simulasi. Nilai isipadu pemerhatian sampel ditentukan untuk membandingkan terhadap nilai ketumpatan spektrum kuasa maksimum, sehingga boleh membezakan dan melihat pencirian kaedah – kaedah penskalaan TFC.

Jadual 5.2 Hasil simulasi *Image Analysis* P9 penskalaan TFC pada ketumpatan spektrum kuasa dengan hala X

Hala Pengurangan		: X Fourier : Purata	Penskalaan TFC : Ketumpatan Spektrum Kuasa			
No	Saiz Pengamatan Sampel	Isi padu Pengamatan Sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Ketumpatan Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	5.0196	1.6732	5.0457	0.2257 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	2.5098	0.8366	2.6928	1636.6751 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	1.0039	0.3346	0.9254	20.9318 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.5019	0.1673	0.4758	0.3357 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	25.098	8.366	23.5294	10.3604 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	3.3464	0.8366	3.2549	0.02088 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	2.5098	0.8366	2.6535	1310.8658 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.01693	0.0001301	0.01693	3585.3894 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	1.0039	0.3346	1.0562	14.0592 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.0092955	0.0000858	0.009295	814815.4794 nm x nm^2
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.436601	3725.5959 nm x nm^2

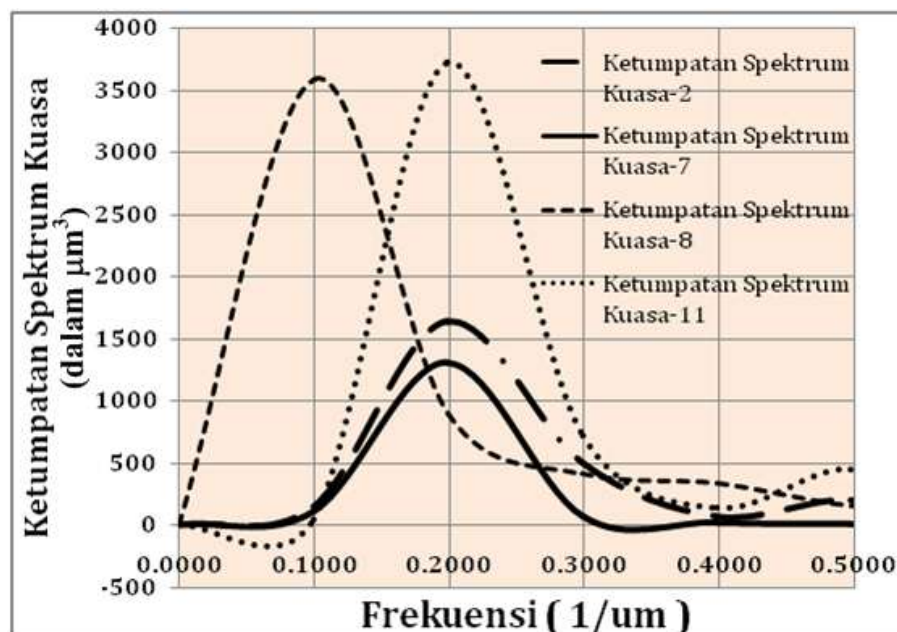
Jadual 5.3 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFCpada ketumpatan spektrum kuasa dengan hala Y

No	Saiz Pengamatan Sampel	Isipadu Pengamatan Sampel (μm^3)	Penskalaan TFC : Ketumpatan Spektrum Kuasa			
			Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Ketumpatan Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	0.09255	0.000858	0.09223	0.00000000004241 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
2	5 μm x5 μm x 443.1 nm	11.0775	0.04612	0.0004337	0.04627	0.000009760 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
3	2 μm x2 μm x 82.1 nm	0.3284	0.01979	0.0001989	0.01947	0.000003515 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
4	1 μm x1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.1115	0.01154	0.1135	0.000002094 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	1.4341	0.03938	1.4331	0.00000000009554 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	0.1209	0.001499	0.001499	0.00000000002582 $\mu\text{m} \times \mu\text{m}^2$
7	5 μm x5 μm x 376.8 nm	9.42	0.04239	0.0003547	0.04201	0.00001083 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
8	2 μm x2 μm x 822 nm	3.288	0.1056	0.005237	0.1057	19079.9612 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
9	2 μm x2 μm x 81.0 nm	0.324	0.02321	0.0002767	0.02305	0.000003654 $\mu\text{m} \times \text{nm}^2$
10	1 μm x1 μm x 451 nm	0.451	0.1003918	0.0091265	0.1004552	2467515.7072 $\text{nm}^* \text{nm}^2$
11	1 μm x1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.0456326	0.001984	0.0461818	0.001006 $\text{nm}^* \text{nm}^2$

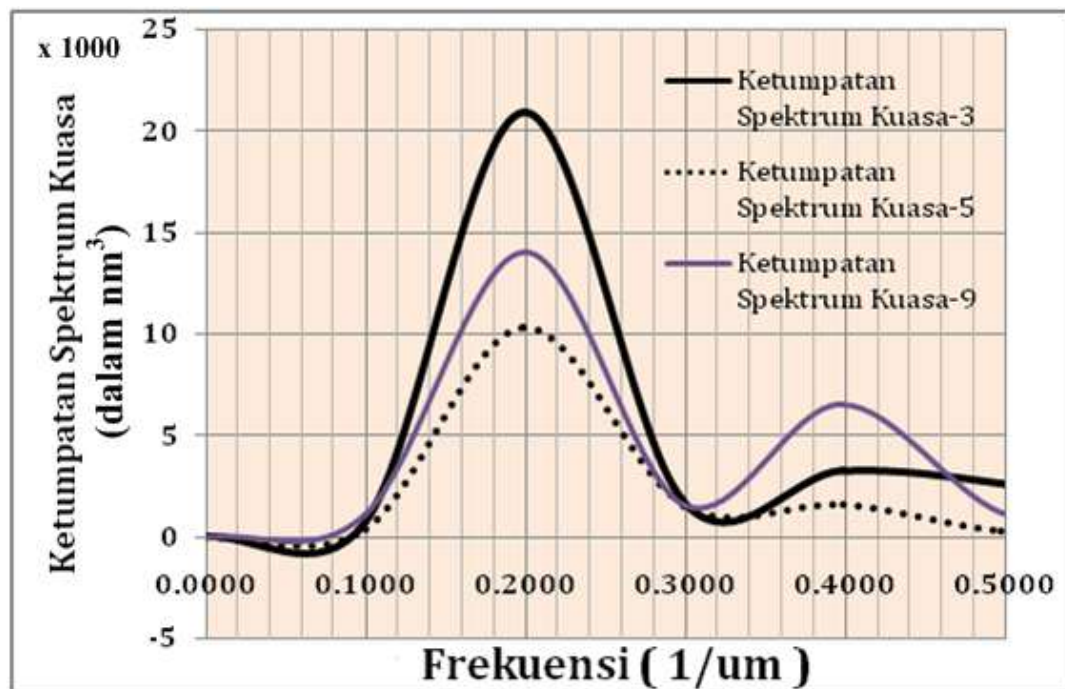
Rajah 5.19 dibawah ini menjelaskan tentang hasil transformasi Fourier cepat dari morfologi permukaan bahan uji menjadi kekerapan tinggi permukaan bahan. Data morfologi permukaan ini boleh didapati dari hasil imbasan MKA berasaskan domain jarak intensiti.

Graf – graf dibawah ini menjelaskan data mengenai nilai ketumpatan spektrum kuasa domain frekuensi. Data awal dapat dilihat dari hasil pemprosesan perisian *Image Analysis P9* yang sesuai dengan Rajah 5.12, Rajah G – 1, Rajah G – 2, Rajah G – 3, Rajah G – 4, Rajah G – 5, Rajah G – 6, Rajah G – 7, Rajah G – 8, Rajah G – 9 dan Rajah G – 10. Julat domain frekuensi yang didapati bermula pada $0.0000 \mu\text{m}^{-1}$ sehingga $12.6504 \mu\text{m}^{-1}$. Hasil simulasi yang dapat dilihat pada Rajah 5.19 sehingga Rajah 5.22 ini menerangkan bahawa, julat frekuensi yang diberikan hanya bermula daripada $0.0000 \text{ 1}/\mu\text{m}$ sehingga $0.5000 \text{ 1}/\mu\text{m}$, kerana pada julat ini terlihat nilai maksimum simulasi.

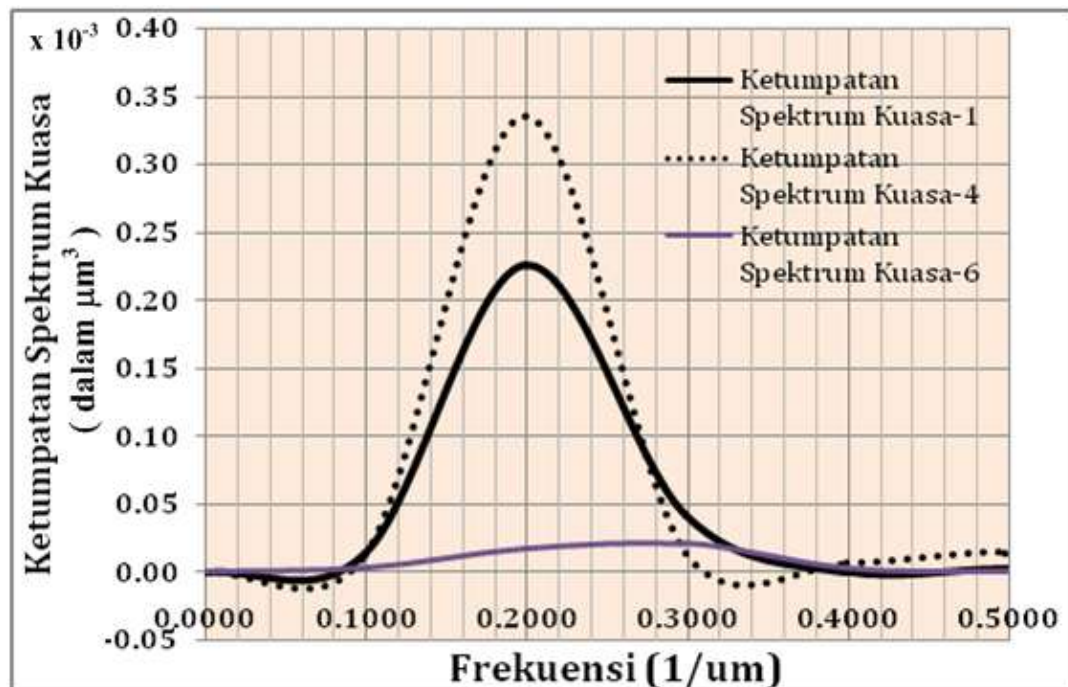
Pada Rajah 5.20 dan Rajah 5.21 dilihat bahawa nilai puncak ketumpatan spektrum kuasa yang sangat rendah, hal ini menunjukkan bahawa lapisan ZnO yang diamati sangat nipis serta mempunyai morfologi permukaan yang rata.



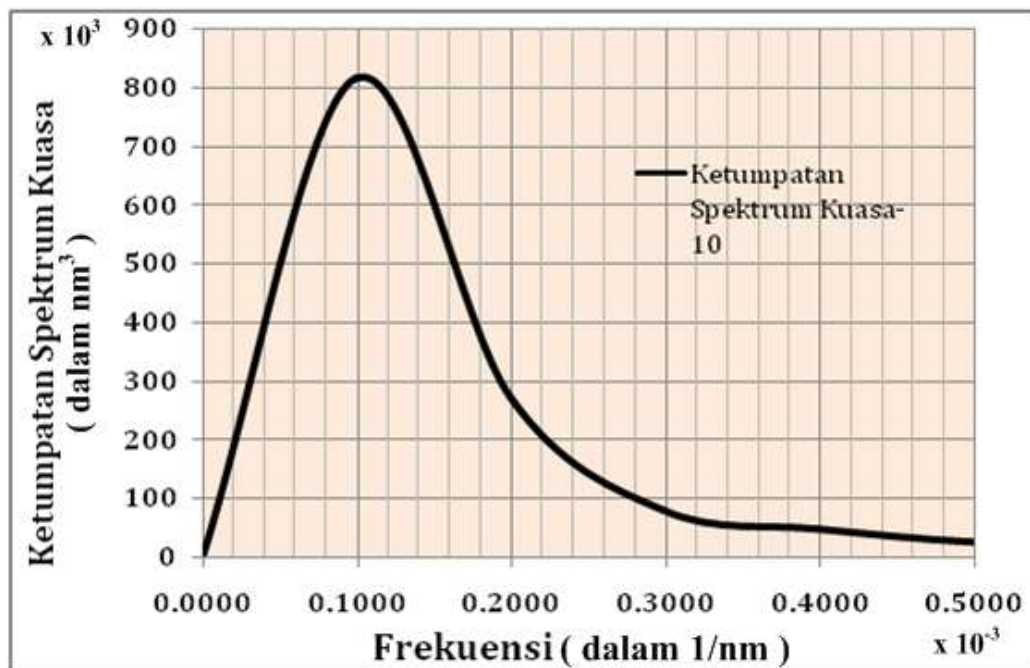
Rajah 5.19 Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai Rajah G – 1 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 2), Rajah G – 6 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 7), Rajah G – 7 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 8), Rajah G – 10 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 11)



Rajah 5.20 Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G – 2 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 3), Rajah G – 4 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 5), Rajah G – 8 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 9)



Rajah 5.21 Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai Rajah 5.12 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 1), Rajah G – 3 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 4), Rajah G – 5 (Ketumpatan Spektrum Kuasa 6)



Rajah 5.22 Hasil simulasi ketumpatan spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai Rajah G – 9 (Ketumpatan Spektrum Kuasa - 10)

5.5.2 Teknik Spektrum Kuasa

Teknik spektrum ini melakukan proses kuasa – dua daripada sumber data spektrum fourier yang didapati dari hasil simulasi dan hasil pengukuran MDA. Hasil simulasi dilihat dalam dua keadaan kedudukan paksi iaitu paksi – X dan paksi – Y. Keadaan teknik spektrum kuasa akan boleh dilihat morfologi permukaan dengan jarak pemerhatian yang berbeza – beza.

Jadual 5.4 menerangkan hasil simulasi penskalaan TFC pada spektrum kuasa pada hala – X dan hala – Y. Hasil ini dilihat sesuai dengan data yang diperolehi berdasarkan saiz pemerhatian sampel bahan ZnO. Hasil simulasi memberikan beberapa data Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC dalam unit um, ralat kedudukan dalam unit um, Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin dalam unit um dan spektrum kuasa maksimum.

Jadual 5.4 Hasil simulasi *Image Analysis* P9 penskalaan TFCpada spektrum kuasa dengan hala X

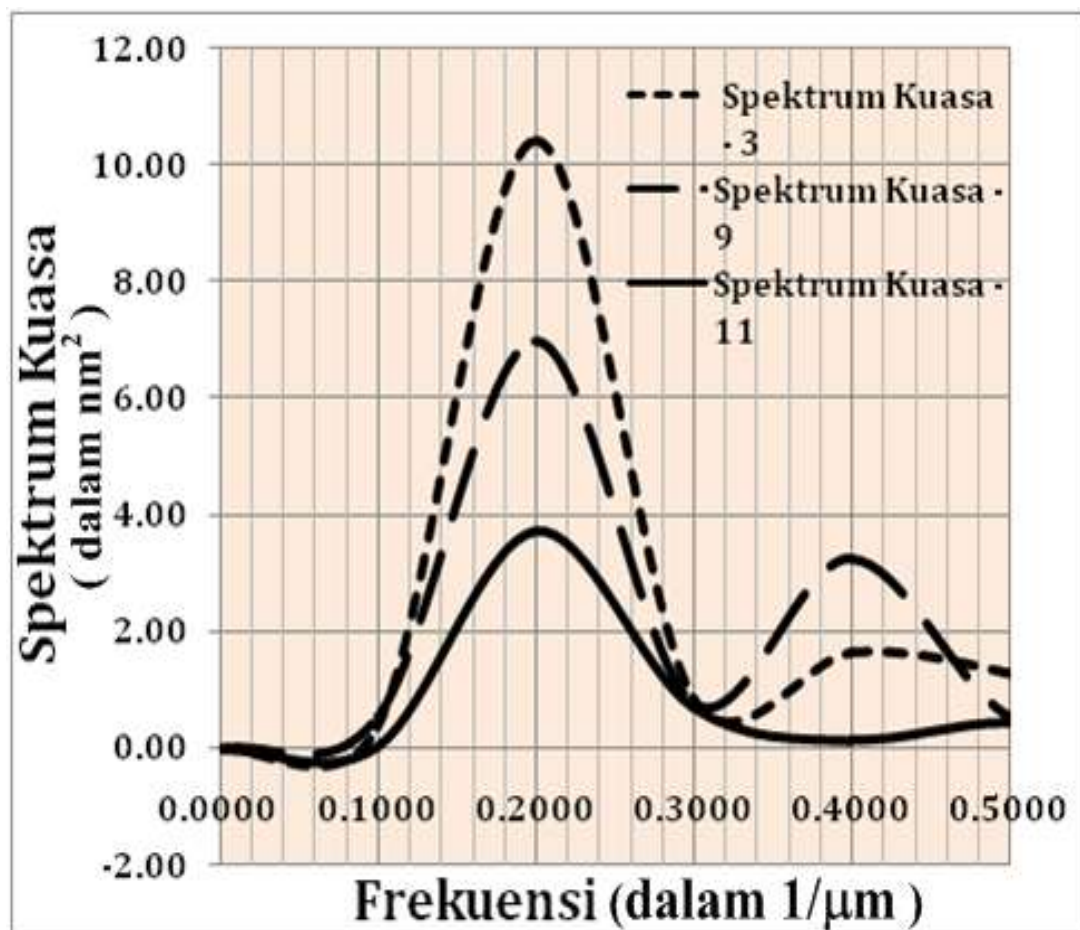
Hala Pengurangan		: X Fourier : Purata		Penskalaan TFC : Spektrum Kuasa		
No	Saiz Pengamatan Sampel	Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	5.0196	1.6732	5.0457	0.02284 μm^2
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	2.5098	0.8366	2.6928	326.0563 nm ²
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	1.0039	0.3346	0.9254	10.4250 nm ²
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.5019	0.1673	0.4758	0.3344 nm ²
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	25.098	8.366	23.5294	0.2063 μm^2
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	3.3464	0.8366	3.2549	0.002006 μm^2
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	2.5098	0.8366	2.6535	261.1490 nm ²
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.01693	0.0001301	0.01693	1785.6925 nm ²
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	1.0039	0.3346	1.0562	7.0021 nm ²
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.0092955	0.0000858	0.009295	811.6331 nm ²
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.436601	3.7110 nm ²

Jadual 5.5 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFC pada spektrum kuasa dengan hala Y

Hala Pengurangan		: Y Fourier : Purata		Penskalaan TFC : Spektrum Kuasa		
No	Saiz Gambar	Isi padu rajah (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	0.09255	0.000858	0.09223	0.000000000004276 μm^2
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	0.04612	0.0004337	0.04627	0.000001975 nm^2
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	0.01979	0.0001989	0.01947	0.000001787 nm^2
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.1115	0.01154	0.1135	0.000002016 nm^2
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	1.4341	0.03938	1.4331	0.000000000001836 μm^2
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	0.1209	0.001499	0.1211	0.000000000002583 μm^2
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	0.04239	0.0003547	0.04201	0.000002086 nm^2
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.1056	0.005237	0.1057	9502.7177 nm^2
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	0.02321	0.0002767	0.02305	0.000001756 nm^2
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.1003918	0.0091265	0.1004552	2457.8786 nm^2
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.0456326	0.001984	0.0461818	0.000001064 nm^2

Pada jadual 5.4 dan 5.5, dapat dilihat hasil simulasi untuk mendapatkan nilai spektrum kuasa maksimum dengan unit nm^2 . Sesuai dengan fungsi asas transformasi fourier cepat ialah mengubah domain jarak ketinggian morfologi permukaan ke dalam domain frekuensi. Rajah 5.23 untuk spektrum kuasa – 9 dan spektrum kuasa – 3 terdapat kenaikan spektrum kuasa sebesar 3.4228 nm^2 , spektrum kuasa – 11 dan spektrum kuasa 9 dengan kenaikan 3.2912 nm^2 pada frekuensi $1.2912 \text{ 1/}\mu\text{m}$ serta 1.6330 nm^2 pada frekuensi $0.39841/\mu\text{m}$.

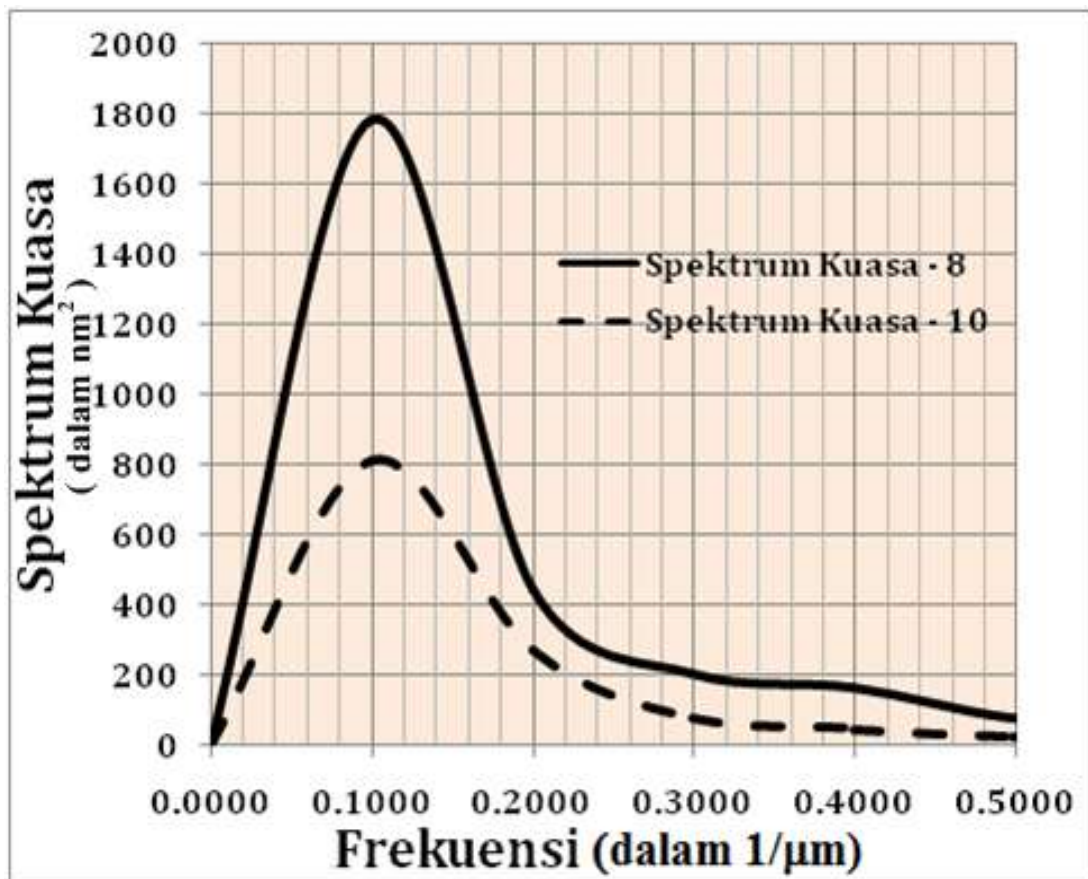
Hal ini terjadi kerana morfologi permukaan yang tidak homogen, begitu juga dengan puncak spektrum kuasa pada setiap sampel yang tidak sama. Keadaan tidak homogen disebabkan oleh kawasan pemerhatian yang dilakukan oleh MKA berbeza – beza.



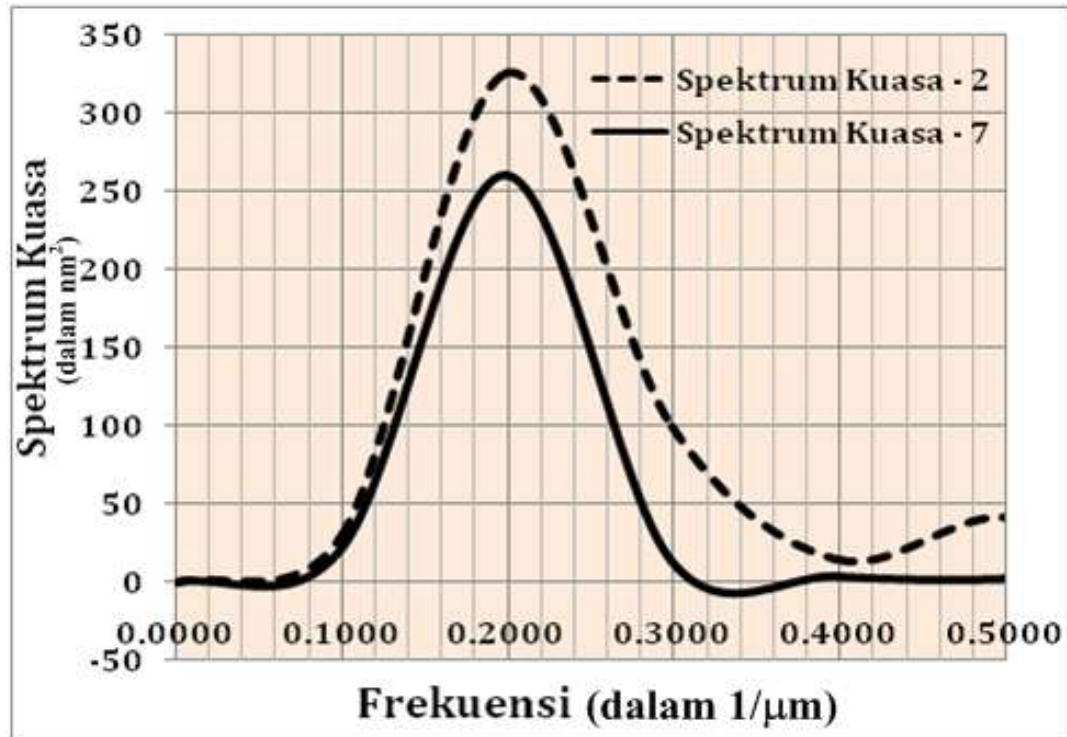
Rajah 5.23 Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensisesuai rajah 5.17 (Spektrum Kuasa - 3), rajah 5.23 (Spektrum Kuasa - 9) dan rajah 5.25 (Spektrum Kuasa - 11)

Bagi Rajah 5.24, spektrum kuasa maksimum boleh didapati pada nilai 811.6331 nm^2 pada frekuensi $0.0996 \text{ 1/}\mu\text{m}$ (spektrum kuasa – 10) dan nilai 1785.6925 nm^2 pada frekuensi $0.0996 \text{ 1/}\mu\text{m}$ (spektrum kuasa – 8). Jika dibandingkan dengan rajah 5.23, hasil simulasi pada rajah 5.24 lebih homogen dan isipadu bahan lapisan lebih besar.

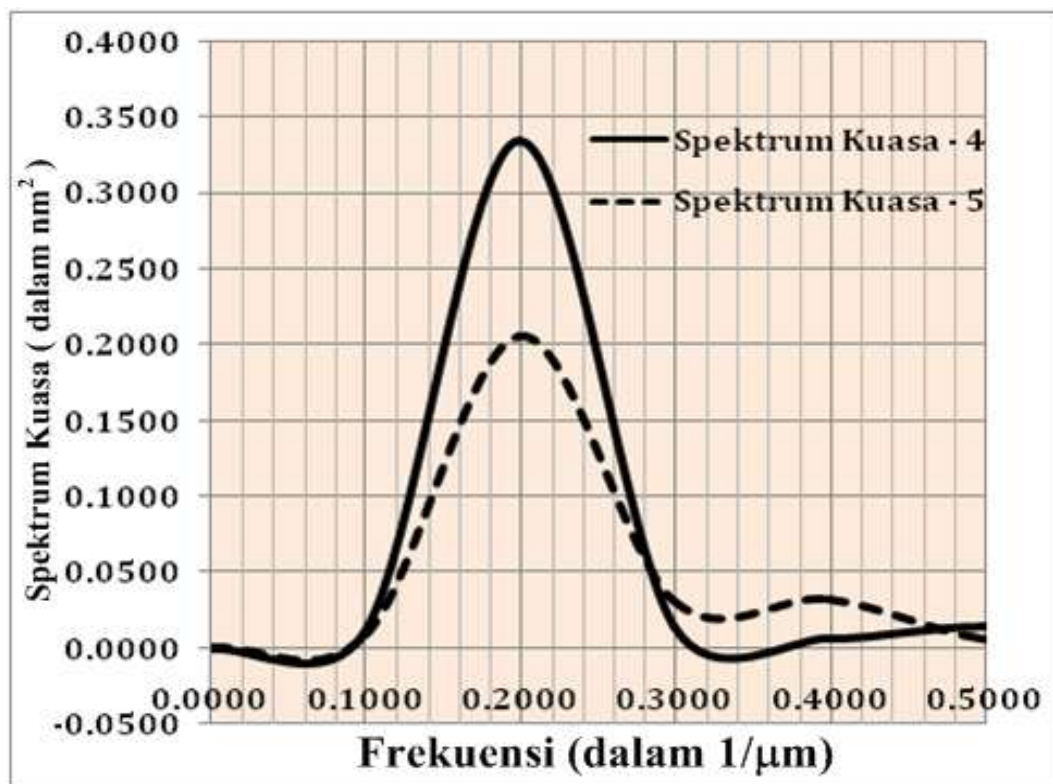
Begitu juga dengan rajah 5.25, 5.26 dan 5.27 menunjukkan frekuensi permukaan bahan sebesar $0.2000 \text{ 1/}\mu\text{m}$. Ketiga rajah tersebut terlihat bahawa permukaan bahan uji lebih homogen. Frekuensi permukaan bahan pada rajah 5.25, 5.26 dan 5.27 lebih besar berbanding dengan rajah 5.24, hal ini menunjukkan keadaan fizikal bahan pada rajah 5.24 lebih nipis berbanding dengan ketiga rajah tersebut.



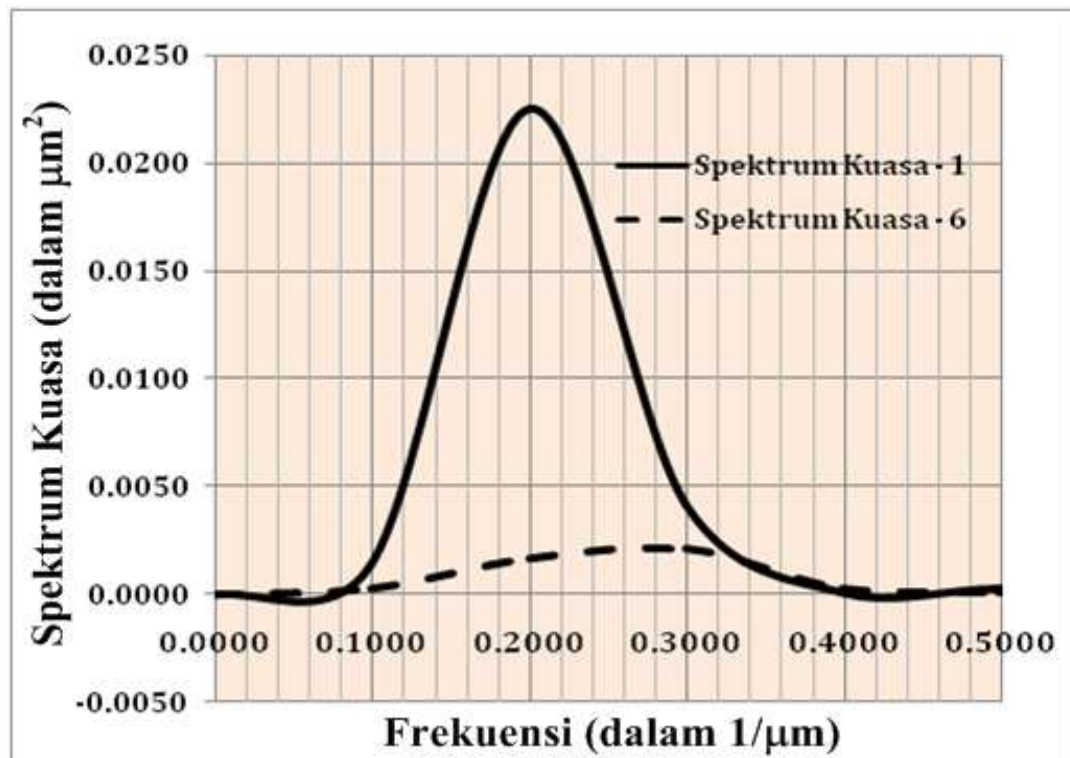
Rajah 5.24 Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G – 7 (Spektrum Kuasa - 8) dan rajah G – 9 (Spektrum Kuasa - 10)



Rajah 5.25 Hasil simulasi spektrum kuasa hala - X pada domain frekuensisesuai rajah G – 1 (Spektrum Kuasa - 2) dan rajah G – 6 (Spektrum Kuasa - 7)



Rajah 5.26 Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G – 3(Spektrum Kuasa - 4) dan rajah G – 4 (Spektrum Kuasa - 5)



Rajah 5.27 Hasil simulasi spektrum kuasa hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (Spektrum Kuasa - 1) dan rajah G – 5 (Spektrum Kuasa - 6)

5.5.3 Teknik Spektrum Magnitud

Teknik spektrum ini dikenali sebagai spektrum modulus ataupun modulus daripada purata spektrum Fourier. Teknik ini terhasil daripada kuasa-dua spektrum kuasa pada bahagian 5. 5. 2. Untuk nilai kedudukan dominan oleh spektrum TFC, ralat kedudukan dan puncak kedudukan dominan oleh spektrum terlicin mempunyai hasil yang sama.

Untuk nilai magnitud maksimum boleh dilihat daripada hasil simulasi analisis imej pada jadual 5. 6 untuk hala – X dan jadual 5. 7 untuk hala – Y. Unit pada nilai magnitud maksimum ialah nm (nanometer) dan nilai ini diberikan untuk jarak ketinggian pengambilan imej yang berbeza. Nilai magnitud maksimum yang didapati adalah 42.2574 nm untuk hala – X dan 97.4818 nm untuk hala – Y.

Kaedah TFC dikenali sebagai imej domain frekuensi, kerana di dalam saluran imej diwakili bahagian dalam gelombang sinusoidal. Dalam sebarang domain frekuensi, setiap saluran mempunyai nilai – nilai amplitud yang disimpan dilokasi

yang tidak berasaskan koordinat ruang X dan Y , tetapi berasaskan koordinat X , kekerapan Y . Ini kerana ia merupakan gambaran digital, maka kekerapan adalah gandaan yang kecil atau unit kekerapan dan koordinat piksel yang mewakili indeks atau gandaan integer unit kekerapan. Hal ini disebabkan oleh aturan fungsi yang berjalan dengan baik sehingga boleh diwakili oleh tindihan (gabungan atau jumlah) gelombang sinusoidal. Dengan kata lain, perwakilan daripada domain kekerapan merupakan salah satu cara untuk menyimpan dan mengeluarkan semula imej daripada domain ruang.

Saiz piksel dapat menjadi lebar persegi maksimum atau saiz ketinggian imej menjadi besar. Untuk membolehkan imej berpusat dengan sesuai daripada FFT asal dibahagian tengah imej, ia perlu mempunyai sebuah dimensi genap. Hal ini berlaku selepas menggunakan transformasi fourier songsang, oleh itu imej perlu timbul kembali ke dimensi asal untuk membuang tapak penyimpanan. Transformasi fourier terdiri daripada nombor kompleks, yang menyebabkan transformasi tidak boleh dilihat secara langsung. Oleh itu, spektrum magnitud merupakan salah satu komponen imej daripada perubahan nombor kompleks.

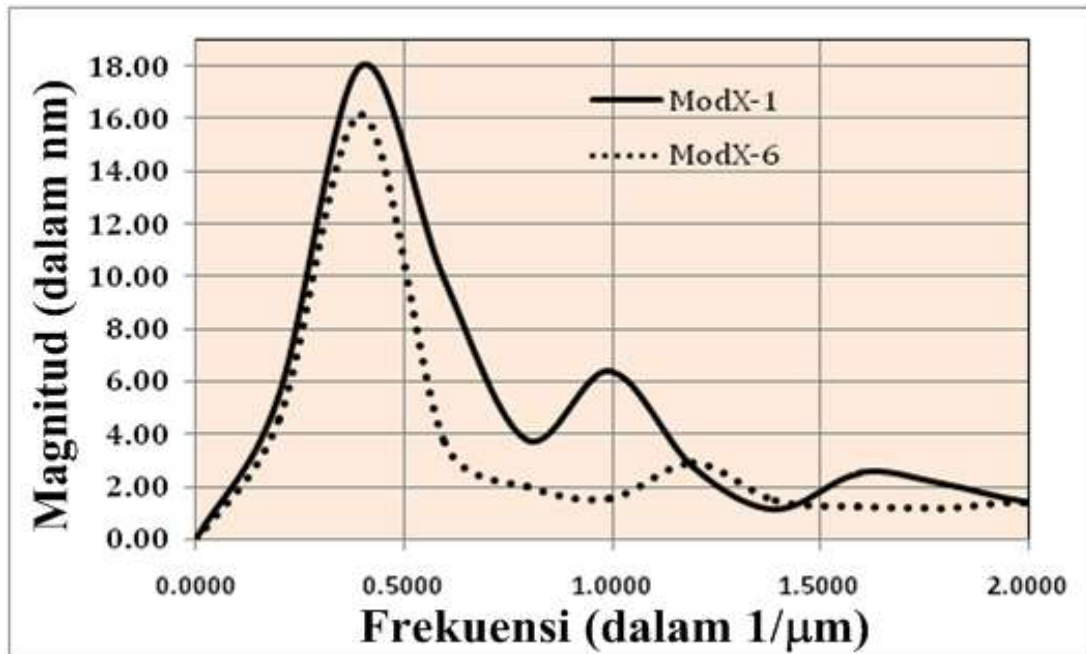
Jadual 5.6 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFCpada spektrum magnitud dengan hala X

Halaan Pengurangan		: X Fourier : Purata Penskalaan TFC : Spektrum Modulus (Magnitud)				
No	Saiz Gambar	Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Magnitud Maksimum (nm)
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	5.0196	1.6732	5.0457	149.9
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	2.5098	0.8366	2.6928	18.0570
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	1.0039	0.3346	0.9254	3.2287
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.5019	0.1673	0.4758	0.5782
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	25.098	8.366	23.5294	454.3
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	3.3464	0.8366	3.2549	45.23
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	2.5098	0.8366	2.6535	16.1601
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.01693	0.0001301	0.01693	42.2574
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	1.0039	0.3346	1.0562	2.6461
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.0092955	0.0000858	0.009295	28.4891
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.436601	1.9264

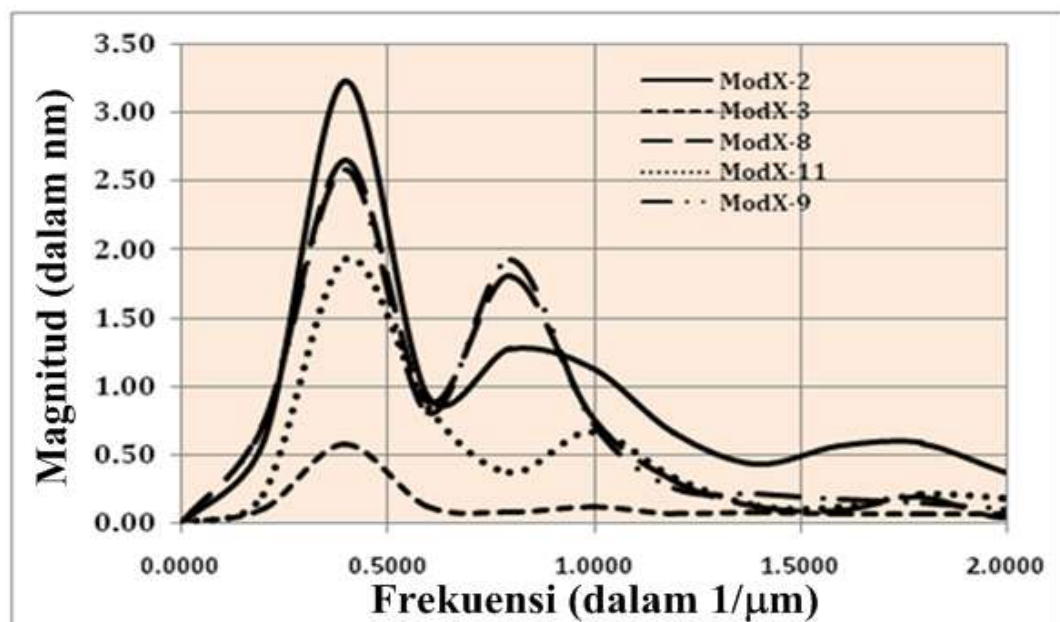
Jadual 5.7 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFCpada spektrum magnitud dengan hala Y

Halaan Pengurangan		: Y Fourier : Purata		Penskalaan TFC : Spektrum Modulus (Magnitud)		
No	Saiz Gambar	Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Magnitud Maksimum (nm)
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	0.09255	0.000858	0.09223	0.002036
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	0.04612	0.0004337	0.04627	0.001355
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	0.01979	0.0001989	0.01947	0.001337
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.1115	0.01154	0.1135	0.001447
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	1.4341	0.03938	1.4331	0.001361
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	0.1209	0.001499	0.1211	0.001569
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	0.04239	0.0003547	0.04201	0.001482
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.1056	0.005237	0.1057	97.4818
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	0.02321	0.0002767	0.02305	0.001300
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.1003918	0.0091265	0.1004552	49.5769
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.436601	1.9264

Rajah 5.28, 5.29, 5.30 dan 5.31 agak berbeza daripada rajah 5.24, 5.25, 5.26 dan 5.27, kerana terdapat lebar spektrum yang lebih besar dan puncak spektrum lebih banyak. Nilai frekuensi atau kekerapan ialah $0.3984 \text{ (1/}\mu\text{m)}$.



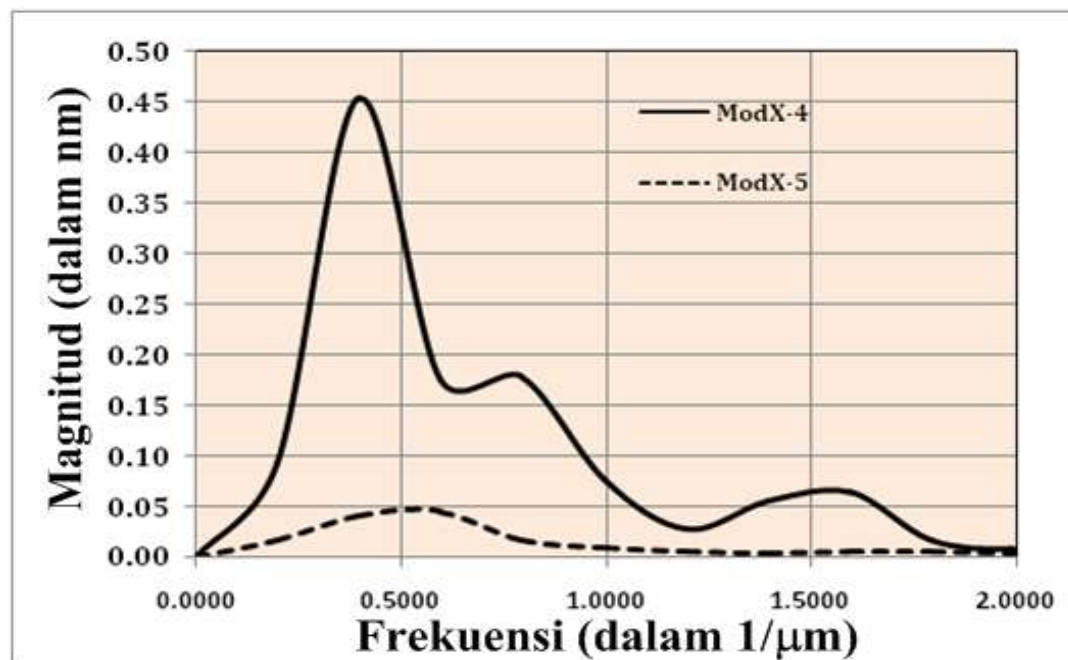
Rajah 5.28 Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (ModX - 1) dan rajah G - 5 (ModX - 6)



Rajah 5.29 Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G - 1 (ModX - 2), rajah G - 2 (ModX - 3), rajah G - 7 (ModX - 8), rajah G - 10 (ModX - 11) dan rajah G - 8 (ModX - 9)

Manakala bagi Rajah 5.29, puncak spektrum yang lebih banyak pada data ModX-2, ModX-3, ModX-8, ModX-11 dan ModX-9. Keadaan ini bermaksud permukaan sampel bahan tidak rata.

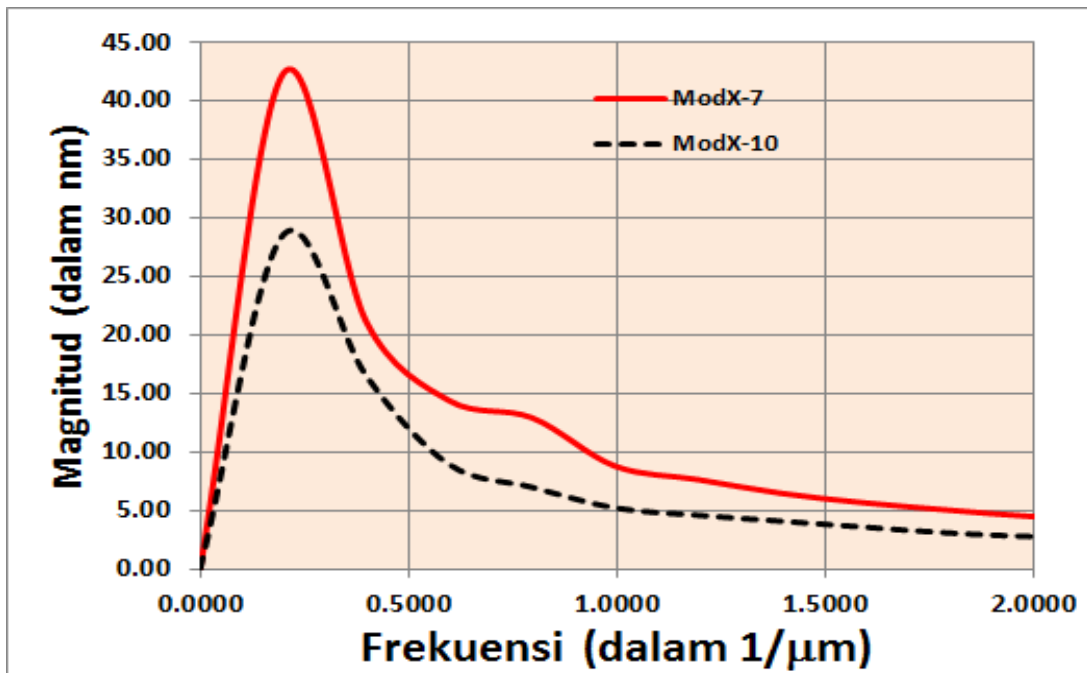
Julat nilai frekuensi paksi X pada spektrum kuasa sebesar 0.500, nilai ini diberikan kerana hasil simulasi menunjukkan nilai puncak yang lain mempunyai nilai yang rendah. Berbeza dengan kes spektrum Magnitud dimana terdapat nilai puncak lain yang cukup ketara. Pada rajah 5. 29, adanya nilai puncak spektrum yang cukup ketara berbanding nilai puncak spektrum utama ditunjukkan pada hasil simulasi imej ModX-2, ModX-8 dan ModX-2.



Rajah 5.30 Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G – 3 (ModX - 4) dan rajah G – 4 (ModX - 5)

Rajah 5. 30 menunjukkan bahawa perbandingan antara dua imej yang berbeza bentuk morfologi permukaan bahan ZnO. ModX – 5 lebih rata berbanding dengan ModX-4 dan lapisan permukaan yang lebih nipis.

Apabila melihat kes yang ditunjukkan pada rajah 5. 31, kita boleh mengambil kesimpulan bahawa bahan sampel yang diuji oleh AFM mikroskop lebih tebal dengan morfologi bahan berbentuk rata. Ketebalan permukaan sampel dapat dilihat daripada kecerunan garis graf yang lebih landai serta berbeza dengan sampel imej yang lain.



Rajah 5.31 Hasil simulasi spektrum magnitud hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G – 6 (ModX – 7) dan rajah G – 9 (ModX - 10)

Bahagian ini hanya memberikan penjelasan mengenai hasil simulasi untuk hala – X, dimana hasil simulasi yang diberikan untuk hala – Y memberikan nilai yang kecil. Hasil simulasi imej untuk hala – X memberikan makna yang sama dengan hasil pengimbasan dengan hala – X, begitujuga untuk hala – Y merupakan hasil pengimbasan untuk hala – Y.

5.5.4 Teknik Spektrum Magnitud Punca Kuasa Dua

Teknik ini merupakan salah satu daripada kaedah TFC. Nilai yang dihasilkan ialah hasil kuasa dua daripada spektrum magnitud pada bahagian 5.5.3 Asas pengukuran teknik ini ialah asas jarak hujung julur dengan sampel bahan uji.

Pada jadual 5.8 dan 5.9 menunjukkan hasil simulasi morfologi permukaan yang diperolehi dari MKA dimana teknik ini ialah hasil spektrum magnitud kuasa dua maksimum dengan unit yang diberikan $(\mu\text{m})^{1/2}$. Kedua jadual tersebut menunjukkan nilai maksimum magnitud punca kuasa dua yang berbeza iaitu $0.6740000 (\mu\text{m})^{1/2}$ dengan nilai puncak kedudukan dominan sebesar $25.098 \mu\text{m}$ serta $0.3122180 (\mu\text{m})^{1/2}$ dengan nilai puncak kedudukan dominan sebesar $0.1056 \mu\text{m}$. Nilai ini dirujuk dari Rajah G – 4 dan Rajah G – 7 yang didapati dari hasil pengambilan dari mikroskop.

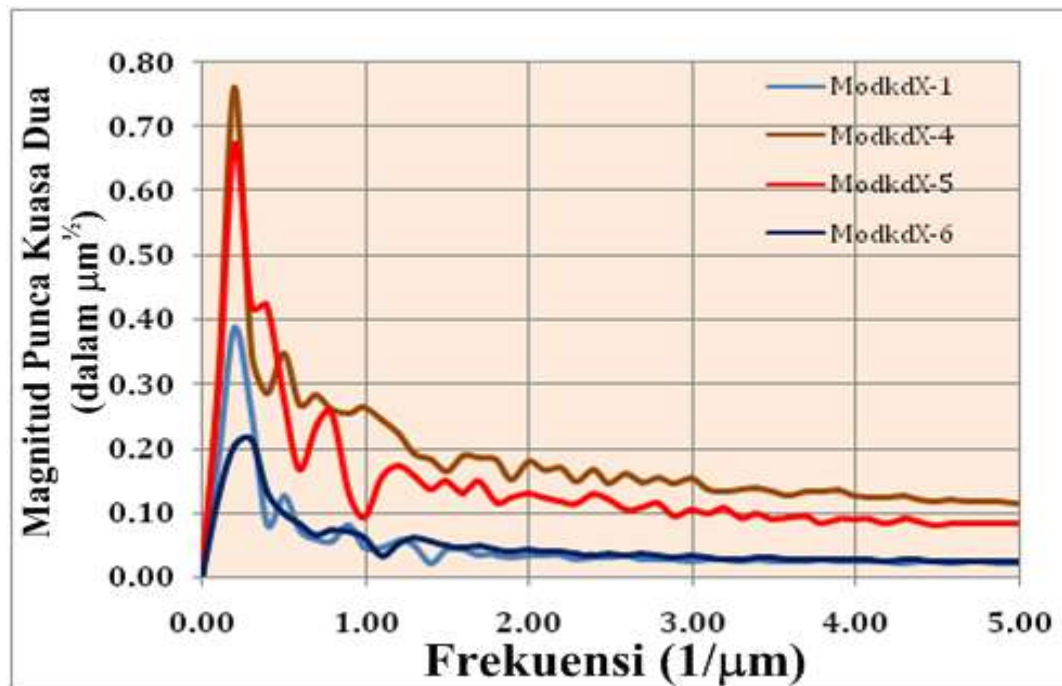
Jadual 5.8 Hasil simulasi *Image Analysis* P9 penskalaan TFC pada spektrum modulus kuasa dua dengan hala X

Halaan Pengurangan		: X Fourier : Purata				
		Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Penskalaan TFC : Spektrum Modulus kuasa dua (Magnitud kuasa dua)			
No	Saiz Gambar		Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Spektrum Magnitud Kuasa Dua Maksimum ($\mu\text{m}^{1/2}$)
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	5.0196	1.6732	5.0457	0.3872000
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	2.5098	0.8366	2.6928	0.1343747
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	1.0039	0.3346	0.9254	0.0568198
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.5019	0.1673	0.4758	0.0240460
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	25.098	8.366	23.5294	0.6740000
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	3.3464	0.8366	3.2549	0.2138000
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	2.5098	0.8366	2.6535	0.1271204
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.01693	0.0001301	0.01693	0.2055639
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	1.0039	0.3346	1.0562	0.0514408
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.0092955	0.0000858	0.009295	0.1687866
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.436601	0.0438893

Jadual 5.9 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFC pada spektrum modulus kuasa dua dengan hala Y

Halaan Pengurangan		: Y Fourier : Purata				
		Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Penskalaan TFC : Spektrum Modulus kuasa dua (Magnitud kuasa dua)			
No	Saiz Gambar		Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Spektrum Magnitud Kuasa Dua Maksimum ($\mu\text{m}^{1/2}$)
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	0.09255	0.000858	0.09223	0.0014300
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	0.04612	0.0004337	0.04627	0.0011881
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	0.01979	0.0001989	0.01947	0.0011444
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.1115	0.01154	0.1135	0.0011742
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	1.4341	0.03938	1.4331	0.0011300
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	0.1209	0.001499	0.1211	0.0012970
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	0.04239	0.0003547	0.04201	0.0011776
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.1056	0.005237	0.1057	0.3122180
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	0.02321	0.0002767	0.02305	0.0011403
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.1003918	0.0091265	0.1004552	0.2226560
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.0456326	0.001984	0.0461818	0.0010309

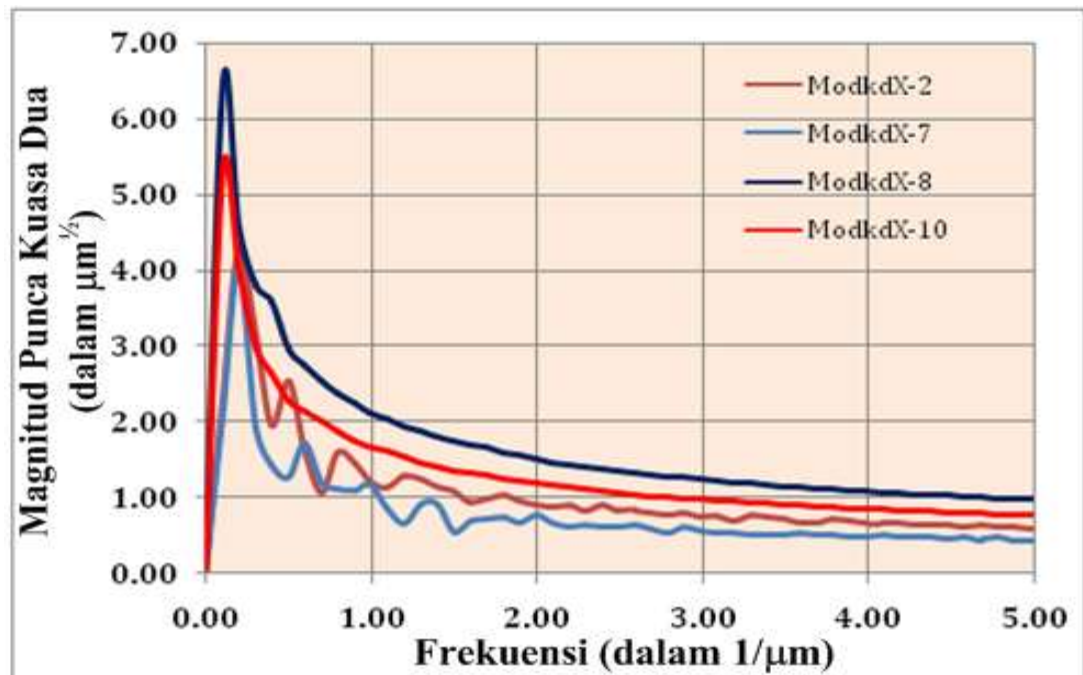
Rajah 5.32 menunjukkan empat spektrum magnitud punca kuasa dua mempunyai nilai frekuensi atau dikenali sebagai kekerapan spektrum sebesar $0.1992 \text{ } 1/\mu\text{m}$, dengan nilai magnitud $0.7605 \mu\text{m}^{1/2}$, $0.6740 \mu\text{m}^{1/2}$, $0.3872 \mu\text{m}^{1/2}$ dan $0.2138 \mu\text{m}^{1/2}$.



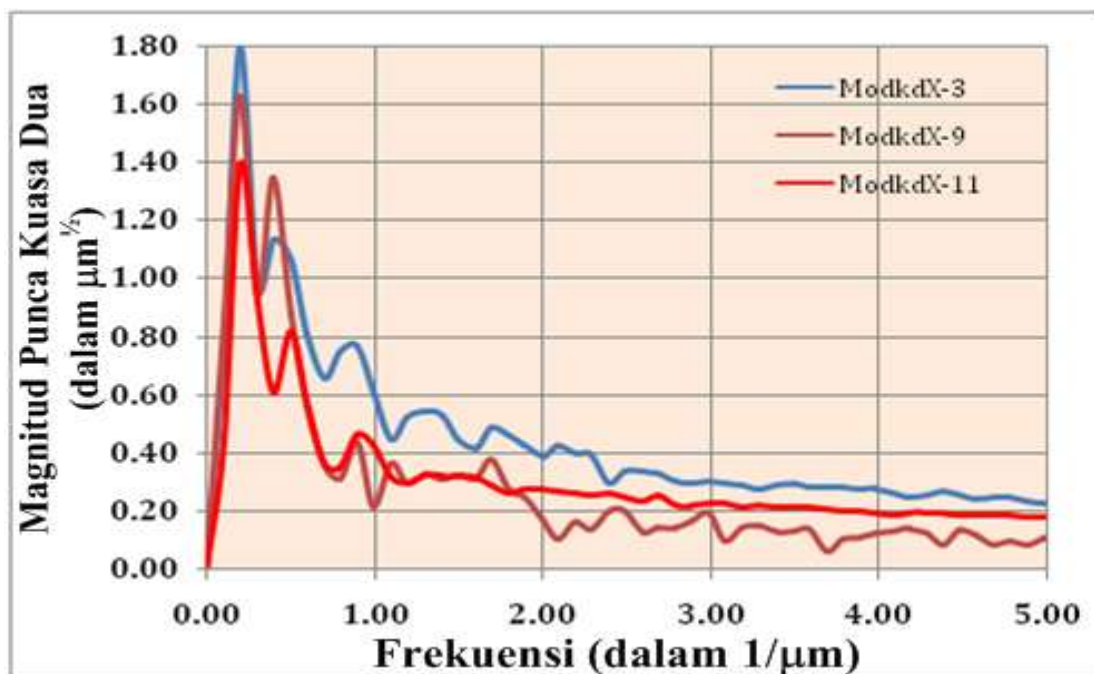
Rajah 5.32 Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah 5.12 (ModkdX – 1), rajah G – 3 (ModkdX - 4) dan rajah G – 4 (ModkdX - 5) dan rajah G – 5 (ModkdX - 6)

Rajah 5. 33 pula menunjukkan perbezaan garis graf iaitu modkdX-10 dan modkdX-8 berbanding dengan lainnya. Pertama, ianya memberikan maklumat bahawa gambar yang ditangkap oleh mikroskop berbentuk morfologi permukaan mendatar pada bahan ZnO. Kedua, sampel bahan ModkdX –8 dan ModkdX –10 mempunyai ketebalan yang berbeza pula, hal ini dapat dilihat dari nilai maksimum magnitud punca kuasa dua.

Pada rajah 5. 33 menunjukkan frekuensi spektrum yang berbeza untuk setiap nilai maksimum magnitud punca kuasa dua. Untuk garis graf modkdX-2 dan modkdX-7 yang mempunyai nilai magnitud punca kuasa dua sebesar $0.1992 (\mu\text{m}^{1/2})$ manakala garis graf modkdX-8 dan modkdX-10 mempunyai nilai magnitud punca kuasa dua sebesar $0.0996 (\mu\text{m}^{1/2})$. Nilai magnitud ini turut berlaku sama pada rajah 5. 34, pada kesemua garis graf (modkdX-3, modkdX-9, modkdX-11).



Rajah 5.33 Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G – 1 (ModkdX – 2), rajah G – 6 (ModkdX – 7) dan rajah G – 7 (ModkdX – 8) dan rajah G – 9 (ModkdX – 10)



Rajah 5.34 Hasil simulasi spektrum magnitud punca kuasa dua hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G –2 (ModkdX – 3), rajah G –8 (ModkdX - 9) dan rajah G –10 (ModkdX - 11)

Rajah 5. 34 memberikan maklumat bahawa keadaan morfologi lapisan bahan ZnO yang tidak mendatar, seperti yang terlihat pada graf $\text{modkX} - 3$, $\text{modkX} - 9$ dan $\text{modkX} - 11$. Ketidak-mendatar lapisan ini dapat dilihat pada puncak spektrum kedua, puncak spektrum ketiga. Pada $\text{modkX} - 9$ yang terdapat pada rajah diatas, perbezaan nilai puncak pertama dan puncak kedua sangat kecil berbanding dengan $\text{modkX} - 3$ dan $\text{modkX} - 11$.

5.5.5 Teknik Spektrum Logaritma

Teknik penskalaan spektrum logaritma menghasilkan nilai spektrum kuasa logaritma maksimum dengan unit $\ln(\mu\text{m})$. Matlamat teknik spektrum logaritma ini ialah; pertama, untuk memperluas nilai dari piksel gelap daripada imej ketika berlakunya kompresi pada nilai tertinggi. Kedua, pemampatan kompresi imej yang diperoleh daripada mikroskop daya atom yang berada pada julat dinamik dengan kepelbagaian nilai piksel yang besar.

Teknik spektrum logaritma boleh mempunyai pelbagai intensiti dari 0 hingga 10^6 atau lebih tinggi. Teknik ini tidak boleh melihat darjah ketaraan secara terperinci daripada imej kerana ia akan hilang di dalam paparan. Hasil simulasi teknik ini dilihat pada jadual 5. 10. Untuk nilai logaritma spektrum kuasa maksimum ialah hasil nilai logaritma asli daripada spektrum kuasa maksimum untuk hala – X dan jadual 5. 11 untuk hala – Y. Pada jadual 5. 10 ini pula memberikan nilai terendah $0.002084 \ln(\mu\text{m})$ dengan nilai puncak kedudukan dominan spektrum TFC sebesar $3.3464 \mu\text{m}$ dan nilai tertinggi $11.232150 \ln(\mu\text{m})$ atau $7.4881 \ln(\text{nm})$ dengan nilai puncak kedudukan dominan spektrum TFC sebesar $0.01693 \mu\text{m}$.

Pada skala spektrum logaritma, imej yang terhasil daripada mikroskop daya atom boleh dimampatkan dengan menggantikan setiap nilai piksel. Hal ini mempunyai kesan bahawa nilai – nilai piksel berintensiti rendah boleh dipertingkatkan. Untuk nilai domain frekuensi hasil TFC ialah $0.1992 (1/\mu\text{m})$, nilai berlaku pada hasil pengiraan daripada Rajah 5.12, Rajah G –1, Rajah G –2, Rajah G –3, Rajah G –5, Rajah G –6, Rajah G –7, Rajah G –8 dan Rajah G –10. Manakala untuk nilai frekuensi TFC iaitu $0.0996 (1/\mu\text{m})$ boleh diperolehi daripada hasil kira Rajah G –9, serta nilai $0.2988 (1/\mu\text{m})$ yang didapati daripada hasil kira Rajah G –4.

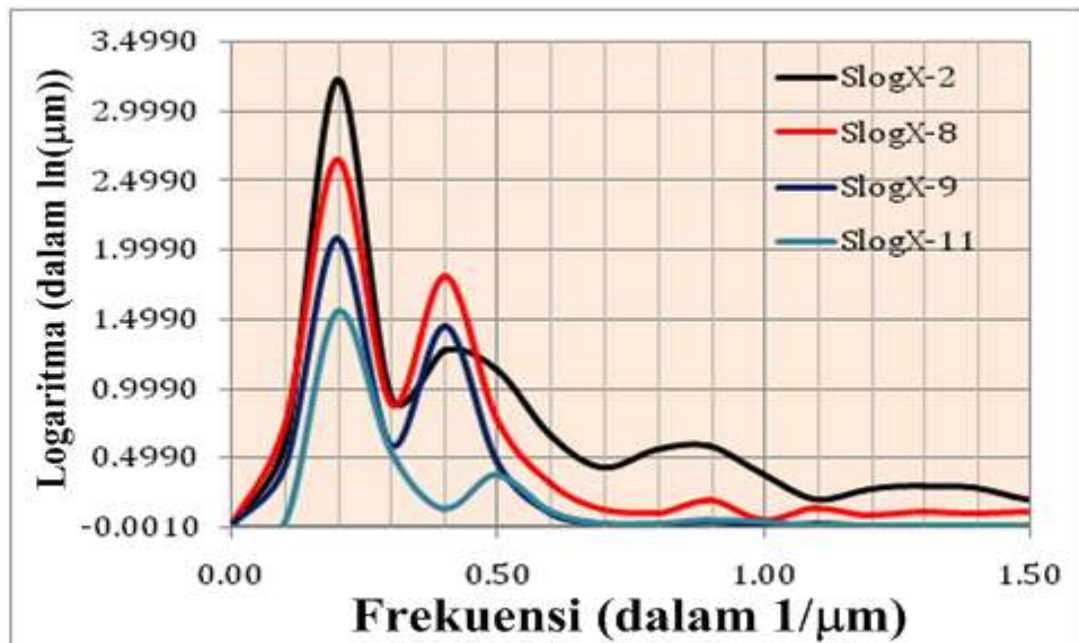
Jadual 5.10 Hasil simulasi *Image Analysis P9* penskalaan TFC pada spektrum logaritma dengan hala X

Halaan Pengurangan		: X Fourier : Purata				
		Penskalaan TFC : Spektrum kuasa Logaritma				
No	Saiz Gambar	Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Logaritma Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	5.0196	1.6732	5.0457	0.02234 ln(μm)
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	2.5098	0.8366	2.6928	5.7901 ln(nm)
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	1.0039	0.3346	0.9254	2.4358 ln(nm)
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.5019	0.1673	0.4758	0.2885 ln(nm)
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	25.0980	8.3660	23.5294	0.1876 ln(μm)
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	3.3464	0.8366	3.2549	0.002084 ln(μm)
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	2.5098	0.8366	2.6535	5.5689 ln(nm)
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.01693	0.0001301	0.01693	7.4881 ln(nm)
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	1.0039	0.3346	1.0562	2.0797 ln(nm)
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.0092955	0.00008580	0.0092950	6.7002 ln(nm)
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.5019604	0.1673201	0.4366010	1.5499 ln(nm)

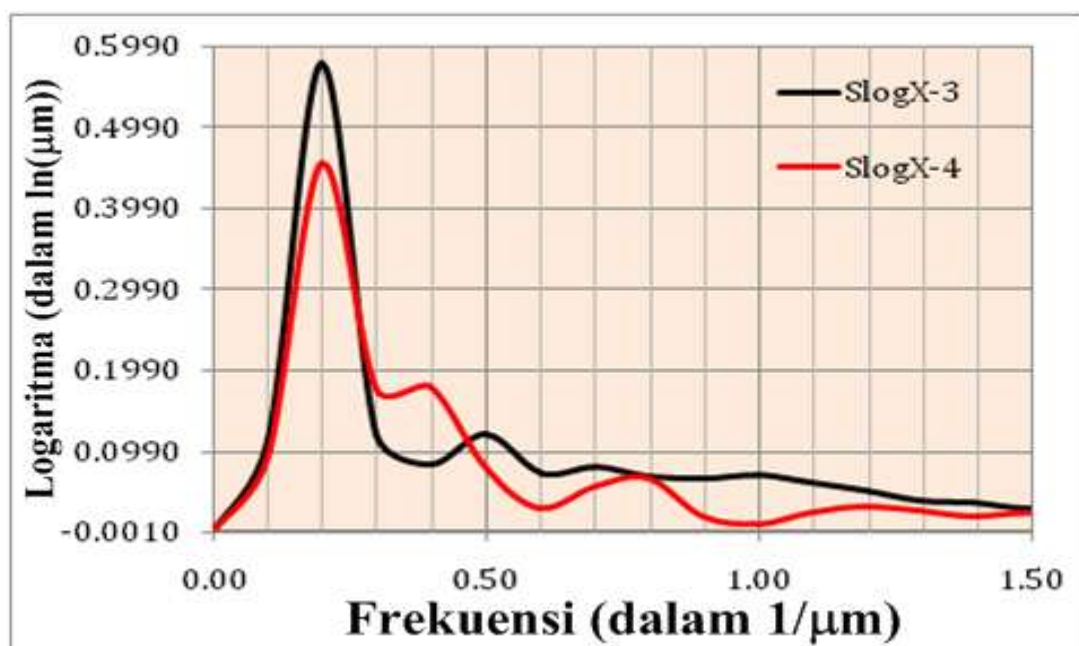
Jadual 5.11 Hasil simulasi Image Analysis P9 penskalaan TFC pada spektrum logaritma dengan hala Y

Halaan Pengurangan		: Y Fourier : Purata		Penskalaan TFC : Spektrum kuasa Logaritma		
No	Saiz Gambar	Isi padu Pengamatan sampel (μm^3)	Puncak Kedudukan Dominan oleh Spektrum TFC (μm)	Ralat Kedudukan (μm)	Puncak Kedudukan dominan oleh Spektrum Terlicin (μm)	Logaritma Spektrum Kuasa Maksimum
1	10 μm x 10 μm x 3.336 μm	333.6	0.09255	0.0008580	0.09223	0.000000000004276 ln(μm)
2	5 μm x 5 μm x 443.1 nm	11.0775	0.04612	0.0004337	0.04627	0.000001975 ln(nm)
3	2 μm x 2 μm x 82.1 nm	0.3284	0.01979	0.0001989	0.01947	0.000001787 ln(nm)
4	1 μm x 1 μm x 16.31 nm	0.01631	0.1115	0.01154	0.1135	0.000002016 ln(nm)
5	50 μm x 50 μm x 16.35 μm	40875	1.4341	0.03938	1.4331	0.000000000001836 ln(μm)
6	10 μm x 10 μm x 1.4 μm	140	0.1209	0.001499	0.1211	0.000000000002583 ln(μm)
7	5 μm x 5 μm x 376.8 nm	9.42	0.04239	0.0003547	0.04201	0.000002086 ln(nm)
8	2 μm x 2 μm x 822 nm	3.288	0.1056	0.005237	0.1057	9.1594 ln(nm)
9	2 μm x 2 μm x 81.0 nm	0.324	0.02321	0.0002767	0.0002767	0.000001756 ln(nm)
10	1 μm x 1 μm x 451 nm	0.451	0.1003918	0.0091265	0.1004552	7.8074 ln(nm)
11	1 μm x 1 μm x 49.49 nm	0.04949	0.0456326	0.0019840	0.0461818	0.000001064 ln(nm)

Berdasarkan beberapa rajah dibawah ini, teknik – teknik yang telah dibincangkan tidak dapat dibezakan secara keterlaluan. Nilai puncak dominan terletak pada 0.20 ($1/\mu\text{m}$) untuk domain frekuensi.



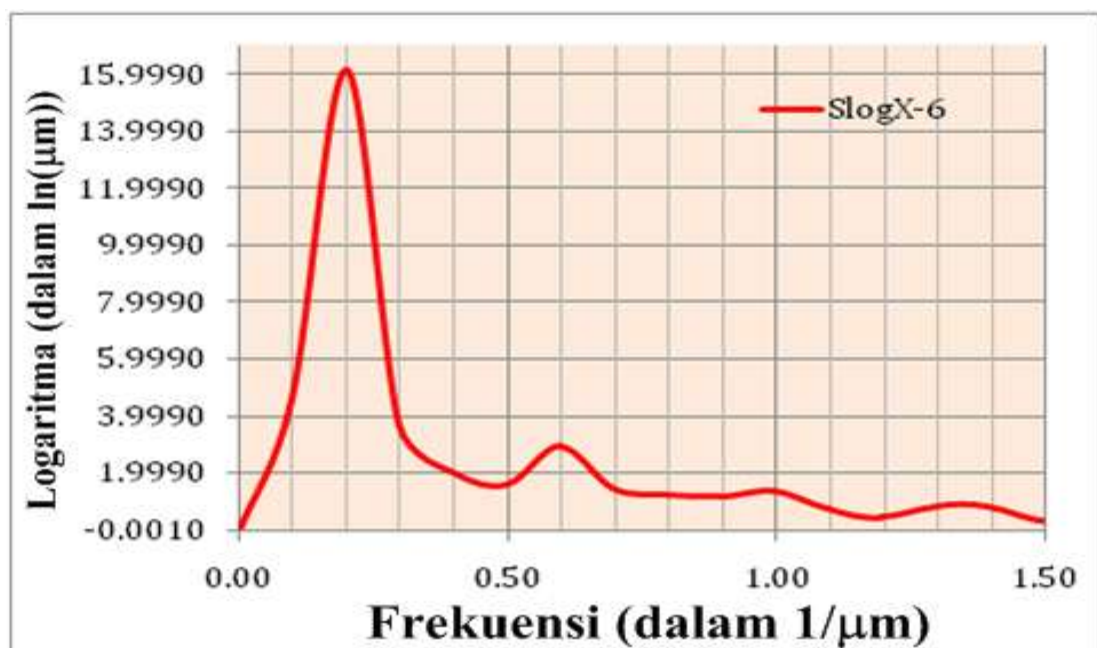
Rajah 5.35 Hasil simulasi spektrum logaritma hala – x pada domain frekuensisesuai rajah G – 1 (SlogX – 2), rajah G – 7 (SlogX –8), rajah G – 8 (SlogX –9) dan rajah G – 10 (SlogX –11)



Rajah 5.36 Hasil simulasi spektrum logaritma hala – x pada domain frekuensisesuai rajah G – 2 (SlogX – 3) dan rajah G – 3 (SlogX –4)

Pada rajah 5.37 dibawah ini menunjukkan nilai logaritma yang besar berbanding hasil pengiraan yang lain. Hasil logaritma yang diperolehi adalah sebesar 16.1601 $\ln(\mu\text{m})$ bagi nilai puncak dominan.

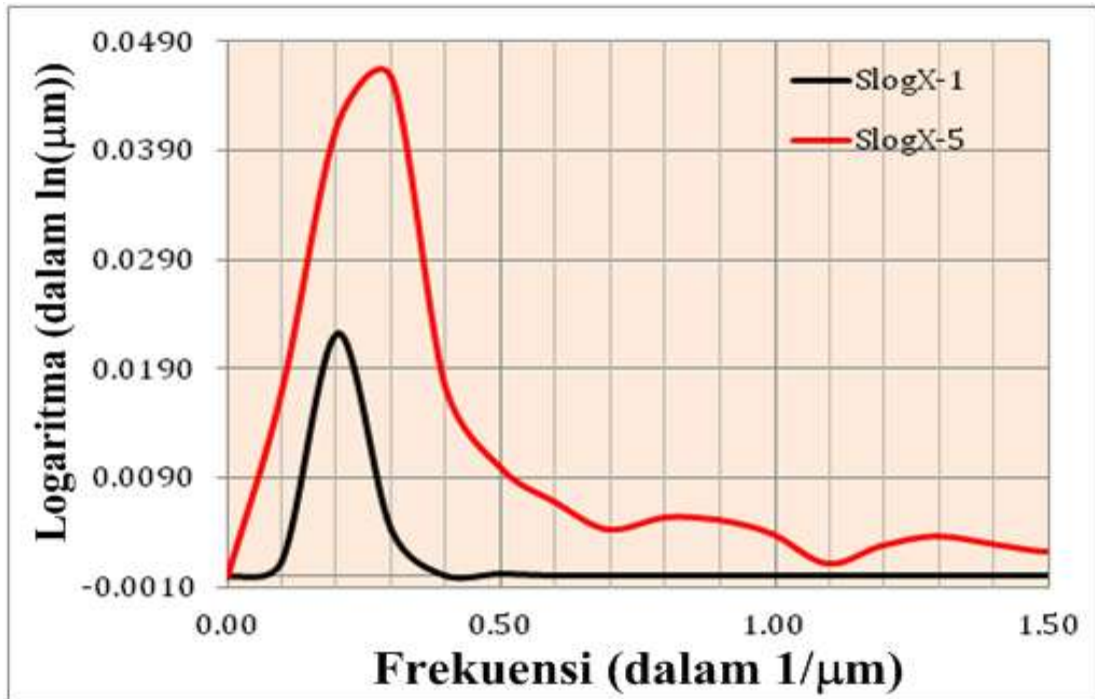
Perbezaan nilai puncak pertama, kedua serta seterusnya mempunyai perbezaan yang sangat ketara. Jika graf ini dihasilkan sebagai hasil pengukuran imej daripada MKA, maka nilai puncak ini dikatakan sebagai pemampatan imej.



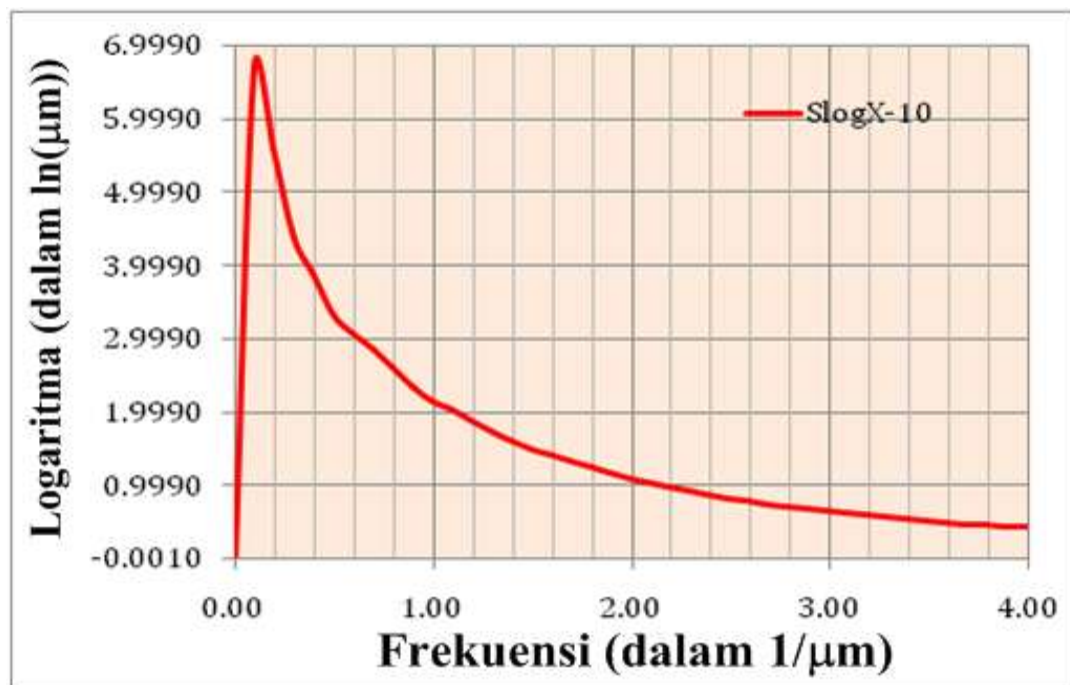
Rajah 5.37 Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensi sesuai rajah G – 5 (SlogX – 6)

Seperti yang telah dibincangkan bahawa teknik transformasi logaritma kepada sesuatu imej akan memeluas piksel yang bernilai rendah ketahap yang lebih tinggi serta mempunyai sedikit kesan kepada nilai piksel yang lebih tinggi dimana nilai puncak boleh dimaksudkan sebagai sebuah titik dalam suatu imej.

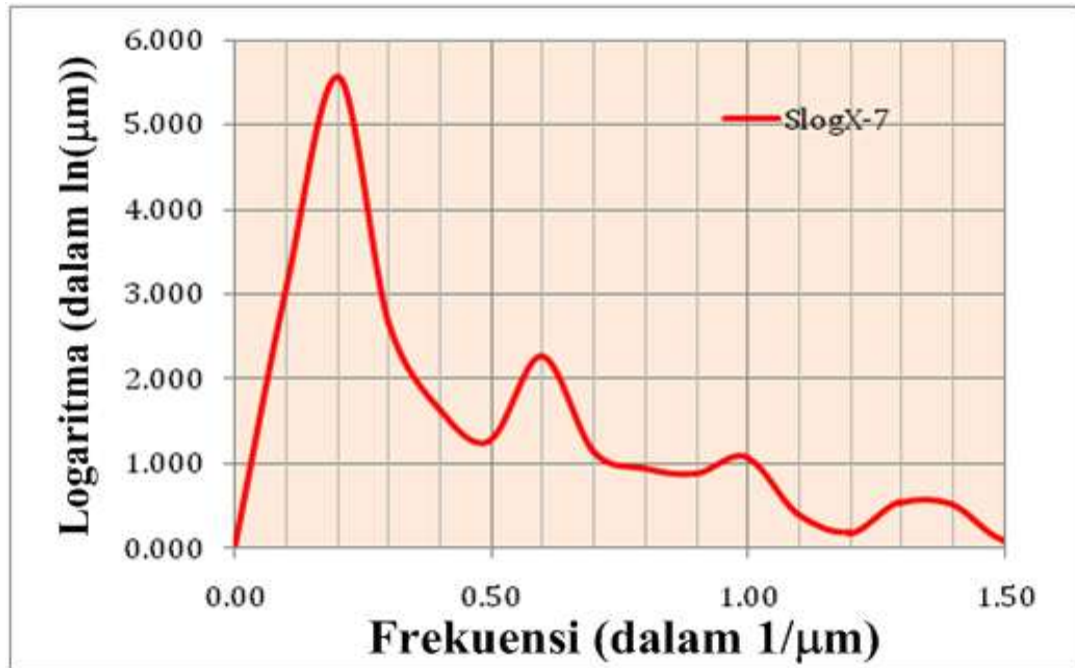
Butiran – butiran kecil dalam imej akan terjadi kerana puncak – puncak logaritma lain pada $0.60(1/\mu\text{m})$, $0.99(1/\mu\text{m})$ dan $1.35(1/\mu\text{m})$. Hasil transformasi dalam teknik logaritma ini ditunjukkan pada rajah 5.40 dan bahagian kesimpulan bab V ini.



Rajah 5.38 Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensisesuai rajah 5.12 (SlogX – 1) dan rajah G – 4 (SlogX - 5)



Rajah 5.39 Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G – 9 (SlogX - 10)



Rajah 5.40 Hasil simulasi spektrum logaritma hala - x pada domain frekuensisesuai rajah G – 6 (SlogX – 7)

5.6 KESIMPULAN

Matlamat utama proses pencirian ZnO adalah untuk mewujudkan dan menguji prosedur serta mengira dan menggabungkan Ketumpatan Spektrum Kuasa Maksimum, Spektrum Kuasa Maksimum, Spektrum Modulus, Spektrum Magnitud Maksimum dan Spektrum Logaritma daripada data MKP yang diperolehi daripada skala paksi – Z yang berbeza - beza atau disebut sebagai skala pengamatan mikroskop yang berbeza – beza dari faktor diatas permukaan optik.

Prosedur ini telah digunakan untuk mengkaji morfologi sebelas kedudukan lapisan ZnO yang diperoleh dari mikroskop MKA bagi mikroskop jenis daya atom. Jenis ini menyediakan pemahaman yang lebih menyeluruh daripada pengaruh keadaan kepada ciri – ciri morfologi filem – filem dan boleh membantu dalam menyesuaikan parameter deposisi mengikut keperluan morfologi permukaan. Data mikroskop daya atom (Maddu et al.) boleh menyokong proses pengoptimuman dengan tujuan mengurangkan kerugian berselerak di dalam filem nipis salutan optik.

Dari rajah 5.19, 5.20, 5.21 dan 5.22 menunjukkan bahawa setiap data yang diterima mempunyai morfologi permukaan bahan ZnO yang berbeza – beza atau boleh dikatakan sebagai pemberian lapisan ZnO yang tidak homogen. Ketidakhomogenan hasil simulasi permukaan lapisan ZnO disebabkan oleh beberapa perkara, iaitu;

1. Kerosakan sampel uji yang diambil.

Hasil – hasil yang didapat daripada MKA seperti ditunjukkan pada Lampiran G merupakan beberapa sampel yang baik; Rajah G – 1, Rajah G – 2, Rajah G – 3, Rajah G – 4, Rajah G – 5, Rajah G – 6, Rajah G – 7, Rajah G – 8, Rajah G – 9 dan Rajah G – 10. Daripada lima teknik yang digunakan dalam kajian ini dapat dilihat bahawa sampel slogx – 10 merupakan hasil yang paling baik, kerana mempunyai satu puncak graf dan kecerunan graf yang baik berbanding graf lainnya. Untuk penggunaan prosedur teknik analisis daripada kaedah pengimbas TFC dapat menggunakan salah satu sahaja. Hasil yang ditunjukkan tidak memberikan perbezaan yang cukup bererti daripada seluruh hasil simulasi yang telah dihasilkan (Rajah 5.19 sehingga Rajah 5.40).

2. Masa celupan sampel uji yang berbeza.

Masa celupan untuk menghakis gentian optik plastik dapat dilakukan dengan masa 10 minit. Sesuai pengalaman bahawa cecair Aseton boleh digunakan untuk dua kali proses penghakisan atau melihat kekeruhan cecair.

3. Kedudukan pengamatan mikroskop yang berbeza.

Kedudukan pengamatan MKA yang paling terdekat untuk ujikaji sampel lapisan ZnO sebesar $0.0092955\ \mu\text{m}$ merupakan kedudukan yang paling baik.

BAB VI

PEMODELAN DAN OPTIMASI UJIKAJI PENGESAN GENTIAN OPTIK PLASTIK MENGGUNAKAN KAEDAH TINDAK BALAS PERMUKAAN (KTP)

KTP (Kaedah Tindakbalas Permukaan) atau *Response Surface Methodology* ialah satu set kaedah statistik dan matematik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisa masalah – masalah kejuruteraan. Matlamat utama teknik ini adalah pengoptimuman tindak balas permukaan yang dipengaruhi oleh pelbagai parameter – parameter proses. KTP juga menilai hubungan antara parameter – parameter masukan terkawal dan mencari nilai tindak balas permukaan. Prosedur KTP seperti aliran berikut,

1. Reka bentuk sebuah siri percubaan untuk pengukuran yang cukup penting dan handal daripada nilai tindak balas.
2. Mengembangkan sebuah model matematik daripada tindak balas permukaan turutan dua dengan peletakkan nilai graf terbaik.
3. Mencari set optimal daripada parameter – parameter optimal yang menghasilkan nilai tindak balas maksimum atau minimum.
4. Melambangkan pengaruh langsung dan interaktif daripada parameter – parameter proses melalui graf dua dan tiga dimensi.

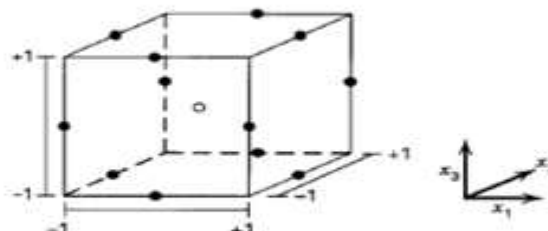
Beberapa perbincangan sebelumnya mempunyai fokus utama adalah faktor pemilihan menggunakan faktorial tingkat – dua dan faktorial terpisah. KTP dikenalkan oleh Box dan Wilson pada tahun 1951 serta banyak digunakan secara luas dalam masalah pembaikan kualiti, reka bentuk produk, analisis sesuatu tak diketahui dan lainnya (Montgomery 2009).

6.1 Reka bentuk Percubaan Untuk KTP

Reka bentuk KTP membenarkan kita untuk mengirakan pengaruh interaksi dan kuadratik genap serta kemudian memberikan sebuah idea daripada bentuk tindak balas permukaan yang tengah diujikaji.

Reka bentuk KTP juga untuk menentukan tingkat – tingkat faktor yang akan secara segera memenuhi satu set spesifikasi yang telah diharapkan serta mendapatkan sebuah kefahaman daripada perilaku sistem keatas kawasan yang diujikaji. Reka bentuk Box – Behnken (RBB) dan reka bentuk komposit terpusat (RKT) merupakan reka bentuk yang efisien untuk peletakkan graf turutan – dua untuk tindak balas permukaan kerana ianya menggunakan jumlah percubaan secara relatif sedikit untuk menghitung parameter – parameter tersebut. Kebolehputaran sebagai satu asas pemilihan daripada sebuah reka bentuk KTP (Anderson & Whitcomb 2007; Montgomery 2009). Matlamat utama KTP iaitu optimasi dan kedudukan optimum yang tidak diketahui sebelum menjalankan percubaan, hal ini membentuk tujuan penggunaan sebuah reka bentuk yang akan memberikan ketepatan pengiraan dalam segala aspek parameter yang dicadangkan. Sebagai contoh, reka bentuk RKT – sfera atau pusat permukaan dan reka bentuk Box Behnken adalah model reka bentuk percubaan yang biasa digunakan untuk tingkat tiga daripada tiga faktor percubaan. Box dan Behnken mencadangkan reka bentuk tiga tingkat untuk peletakkan tindak balas permukaan.

Run	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



Rajah 6.1 Contoh reka bentuk tiga faktor Box – Behnken (M. Manohar.et.al)

Reka bentuk ini dibentuk dengan kombinasi 2^k faktorial dengan reka bentuk kotak yang tidak lengkap. Rajah 6.1 menjelaskan tiga pembolehubah reka bentuk Box – Behnken. Reka bentuk ini tercatat bahawa reka bentuk ini merupakan sebuah reka bentuk speris dengan seluruh titik berada pada sebuah jejari speris $\sqrt{2}$. Serta reka bentuk Box – Behnken tidak berada disetiap titik bucu kawasan kubik yang dibentuk dari had atas dan bawah untuk masing – masing pembolehubah.

Reka bentuk ini menjadi menguntungkan apabila titik – titik pada sudut kubik melambangkan faktor tingkat kombinasi yang tidak mungkin diuji kerana proses kekangan fizikal atau kos ujikaji yang mahal dan lama. Titik – titik merupakan sudut hilang boleh berguna apabila penyelidik harus mengelakkan kombinasi faktor – faktor ekstrem. Sifat – sifat ini mencegah kehilangan data dalam proses kekangan dan kos ujikaji.

Reka bentuk Box – Behnken memerlukan beberapa rawatan dari kombinasi berbanding RKT di dalam permasalahan mencakup 3 atau 4 faktor pengaruh. RBB merupakan kebolehpusingan (atau pendekatan) tetapi reka bentuk ini terdiri dari kawasan yang mempunyai kualiti ramalan yang buruk. Dalam kajian ini, ujikaji yang telah dicadangkan dan dilakukan berdasarkan sebuah reka bentuktindak balas permukaan jenis Box – Behnken.

6.1.1 Model Matematik

Tindakbalas permukaan turutan dua melambangkan kekasaran permukaan dapat dijelaskan sebagai sebuah fungsi panjang kuar, diameter kuar, doping fotoinitiator, tekanan vakum, isipadu cecair pengesan dan pelbagai panjang gelombang, menjadi pembolehubah masukan dari proses pemesinan. Sebuah model regresi dapat juga digunakan untuk bentuk model matematik ini.

Kaedah tindak balas permukaan melibatkan teknik matematik dan statistik yang digunakan untuk masalah model dan analisis dimana proses tindak balas dipengaruhi oleh beberapa pembolehubah masukan dan tujuan kajian untuk optimasi tindak balas ini. Untuk memilih KTP, pemilihan parameter – parameter penyumbang,

tingkatan parameter dan reka bentuk ujikaji yang sesuai merupakan masalah penting. KTP terdiri dari sebuah kumpulan – kumpulan teknik digunakan dalam membina kajian empirik dari hubungan antara sebuah tindak balas dan pelbagai pembolehubah masukan.

Keuntungan utama menggunakan KTP ialah untuk kefahaman dan menilai keberkesanan dari kepelbagaian parameter dan interaksi mereka dengan yang lainnya dalam menghasilkan tindak balas. Sehingga, KTP ditentukan sebagai pendekatan yang sesuai untuk optimasi sebuah proses dengan satu tindak balas atau lebih dari dua.

Hubungan antara faktor – faktor dan pengukuran prestasi diungkapkan dengan persamaan regresi pelbagai dimana persamaan ini dapat digunakan untuk mengira nilai yang diharapkan dari tingkat prestasi untuk setiap tingkat faktor pengaruh. Jika seluruh pembolehubah dianggap menjadi kebolehkiraan, tindak balas permukaan dapat diterangkan sebagai (Aslan & Cebeci 2007; Manohar et al. 2013),

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (6.1)$$

Tujuan persamaan diatas ialah optimasi tindak balas pembolehubah y. Tujuan ini dianggap bahawa pembolehubah bebas ialah berterusan dan kebolehkawalan dengan ujikaji – ujikaji yang mengabaikan kesalahan – kesalahan. Biasanya sebuah model turutan – dua dipakai untuk mencari pendekatan yang sesuai bagi hubungan fungsi antara pembolehubah – pembolehubah bebas dan tindak balas permukaan (Aslan & Cebeci 2007; Tekindal et al. 2012; Manohar et al. 2013).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (6.2)$$

dimana β_0 ditakrifkan sebagai pemalar pemintas, β_i sebagai pemalar interaksi lurus dan kuadratik, β_{ij} sebagai pemalar interaksi turutan kedua, k ialah simbol daripada pembolehubah bebas dan ε ialah sebuah kesalahan rawak. Dalam bentuk matrik,

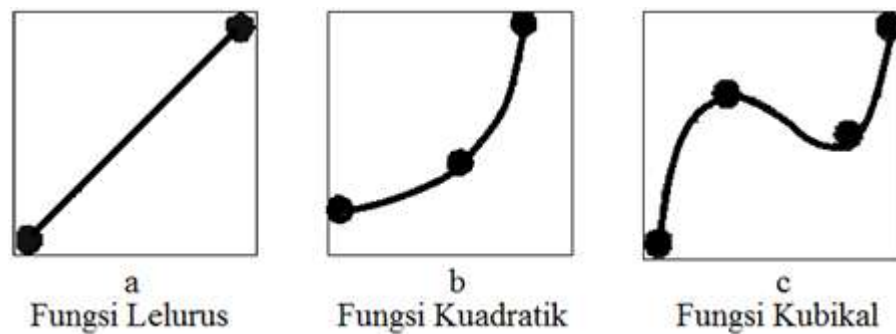
$$y = \beta x + \varepsilon \quad (6.3)$$

Solusi persamaan (6.3) diatas dapat dijelaskan dengan pendekatan matrik.

$$\beta = (x^T x)^{-1} x^T y \quad (6.4)$$

6.1.2 Jenis - Jenis Fungsi

Pada rajah 6.2a, 6.2b dan 6.2c menggambarkan kelakuan tindak balas sebagai fungsi set. Di dalam setiap kes, asumsi nilai tindak balas meningkat dari bawah rajah menuju keatas dan faktor set menaik dari kiri ke kanan rajah tersebut.



Rajah 6.2 Pelbagai graf jenis fungsi – fungsi KTP

Jika sebuah tindak balas seperti graf pada rajah 6.2a maka reka bentuk matrik hanya menjumlahkan kelakuan graf yang diperlukan yang berisikan faktor – faktor dua tingkatan (rendah dan tinggi). Model ini merupakan sebuah asumsi asas daripada dua tingkatan faktorial dan reka bentuk pemisahan faktorial.

Jika tindak balas seperti graf pada rajah 6.2b maka jumlah minimum tingkatan diperlukan untuk sebuah faktor untuk menjumlahkan tiga – kelakuan. Salah satu asumsi logik bahawa penambahan titik pusat untuk reka bentuk dua – tingkatan haruslah memenuhi persyaran, tetapi susunatur rawatan dalam sebuah matrik mengacaukan seluruh kesan kuadratik dengan tindak balas lainnya.

Jika sebuah reka bentuk dua – tingkatan dengan titik pusat tidak dapat mengira kesan kuadratik tulen secara individu, reka bentuk tersebut dapat mengesan secara

efektif. Sebuah solusi untuk membuat sebuah reka bentuk matrik yang membenarkan pengiraan kelengkungan data seperti ditunjukkan dalam rajah 6. 2b seharusnya menggunakan sebuah reka bentuk faktorial tiga – tingkatan. Jadual 6.1 meneroka kemungkinan reka bentuk faktorial tersebut. Pada akhirnya, di dalam kes yang lebih kompleks seperti yang digambarkan dalam rajah 6.2c, reka bentuk matrik harus mengandungi paling sedikit empat – tingkatan setiap faktor untuk pencirian kelakuan tindak balas secukupnya.

Jadual 6.1 Reka bentuk faktorial tiga – tingkatan		
Jumlah Faktor	Jumlah Kombinasi (3^k)	Jumlah Pekali
2	9	6
3	27	10
4	81	15
5	243	21
6	729	28

Jumlah proses yang diperlukan untuk sebuah faktorial 3^k menjadi tidak boleh diterima walaupun lebih cepat berbanding dengan reka bentuk faktorial 2^k . Kolum terakhir dalam jadual 6. 1 menunjukkan bilangan terma – terma yang terdapat dalam model kuadratik bagi setiap kes fungsi data.

6.2 PROSEDUR UJIKAJI

6.2.1 Bahan

Zink Oksid (ZnO) berbentuk serbuk nano dari Sigma – Aldrich dicampur dengan cecair methanol seperti yang dijelaskan pada bab 2, bahagian 2.4.1. Penambahan cecair perekat atau disebut dengan fotoinisiator dengan saiz pemberian sebanyak 0.05 ml, 0.10 ml, 0.15 ml, 0.20 ml. Dalam reka bentuk saiz pemberian dikira berdasarkan kod -1, 0, 1, dimana untuk kod -1 sebagai nilai terendah dan kod 1 sebagai nilai tertinggi.

Cecair yang telah dicampurkan, kemudian dilakukan proses pelapisan kuar gentian optik yang disesuaikan dengan jadual 6.2 reka bentuk ujikaji. Setelah melakukan proses pelapisan ini, kuar gentian optik dikeringkan selama 1 hari supaya serbuk nano ZnO boleh melekat pada hujung kepala kuar.

6.2.2 Kaedah Ujikaji

Reka bentuk KTP membolehkan kita untuk menganggarkan interaksi dan kesan kuadratik genap, dan justeru memberikan kita idea daripada bentuk (tempatan) permukaan tindak balas yang sedang disiasat. Reka bentuk Box-Behnken mempunyai kecekapan maksimum bagi masalah KTP melibatkan lima faktor dengan faktorial tiga – tingkatan. Juga bilangan proses yang diperlukan kurang berbanding dengan reka bentuk komposit terpusat. KTP merupakan sebuah cara optimum untuk menilai hubungan antara keluaran ujikaji (tindak balas) dan faktor – faktor yang disebut sebagai X_1 , X_2 , X_3 dan lainnya. Kaedah ini biasanya digunakan dalam bentuk kombinasi dengan kaedah reka bentuk faktorial seperti reka bentuk Box – Behnken dan Reka bentuk Komposit Terpusat (RKT). Menggunapakai kaedah Box – Behnken boleh mengurangkan jumlah satu tetapan tanpa mengurangkan ketepatan optimasi berbanding dengan kaedah reka bentuk faktorial tradisional.

Jadual 6.2 Tingkatan minima dan maksima daripada empat faktor – faktor pembolehubah dalam simbol yang dikodkan dan tak-dikodkan

Pembolehubah	Simbol		Tingkatan		
	Diko-dkan	Tak-dikodkan	-1	0	1
Panjang Kuar (cm)	x_1	X_1	2.5	6.25	10
Diameter Kuar (mm)	x_2	X_2	0.51	0.69	0.87
Doping fotoinisiator (ml)	x_3	X_3	0.05	0.125	0.2
Tekanan Kebuk vakum(mBar)	x_4	X_4	0	50	100
Ketulenian cecair pengesan (%)	x_5	X_5	10	55	100

Julat minima dan maksima untuk lima pembolehubah digambarkan dalam bahagian simbol kod dan tak-dikodkan pada jadual 6.2. Hubungan antara pembolehubah dikodkan dan tak-dikodkan dijelaskan dengan mengikuti persamaan – persamaan (Anderson & Whitcomb 2007; Shu et al. 2013; Qiu et al. 2014):

$$x_1 = \frac{(X_1 - 6.25)}{\Delta X} = \frac{(X_1 - 6.25)}{6.25 - 2.5} = \frac{(X_1 - 6.25)}{3.75} \quad (6.5)$$

$$x_2 = \frac{(X_2 - 0.69)}{0.18} \quad (6.6)$$

$$x_3 = \frac{(X_3 - 0.125)}{0.075} \quad (6.7)$$

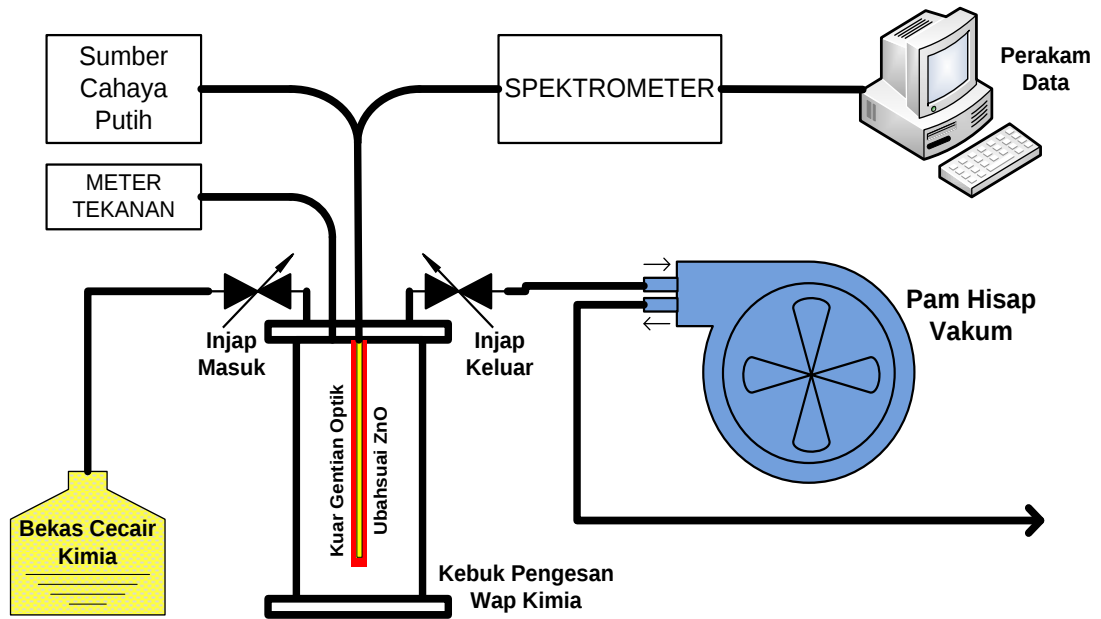
$$x_4 = \frac{(X_4 - 50)}{50} \quad (6.8)$$

$$x_5 = \frac{(X_5 - 55)}{45} \quad (6.9)$$

dimana X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 merupakan pembolehubah tak-dikodkan dan x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 pembolehubah dikodkan. Secara jelas, lima faktor – faktor tak-dikodkan mempunyai unit sendiri. Dengan memperkenalkan pembolehubah dikodkan, kita membuat faktor – faktor tersebut tanpa dimensi. Keberkesanan lima pembolehubah ini dalam kecekapan pengesanan dapat dihipotesiskan menggunakan sebuah model polinomial turutan dua seperti yang dituliskan pada persamaan (6.2).

Persediaan ujikaji pengesanan wap kimia menggunakan gentian optik ditunjukkan pada Rajah 6.3. Ujikaji ini terdiri daripada bekas cecair kimia, kebuk pengesanan wap kimia, pam hisap vakum, meter tekanan, sumber cahaya putih dan spektrometer *Ocean Optic* (USB4000 VIS-NIR). Pada bahagian dalam kebuk pengesanan sebagai tempat letak kuar gentian optik. Untuk melakukan ujikaji ini, kuar gentian optik dibuat dengan kepelbagaian saiz serta melakukan percubaan pengesanan untuk setiap kuar gentian optik tersebut.

Pam hisap vakum digunakan untuk menarik wap kimia yang berada dalam bekas cecair. Wap kimia akan keluar melalui laluan keluar daripada pam hisap. Tekanan di dalam kebuk dikawal dengan penyelarasan injap keluar dengan kuasa hisap yang dilakukan oleh pam tersebut. Spektrometer berfungsi sebagai pengesanan spektrum dari sumber cahaya yang dihantarkan melalui gentian optik.



(a)



(b)

Rajah 6.3 Skema ujikaji pengesan wap kimia, (a) Tatarajah ujikaji pengesanwap kimia, (b). Gambar ujikaji pengesanan wap kimia

Cadangan reka bentuk Box – Behnken memerlukan 46 proses untuk model permukaan tindak balas permukaan. Parameter proses untuk larian eksperimen dipilih berdasarkan reka bentuk standard yang ditunjukkan pada Rajah 6.1. Butiran proses

larian ujikaji dengan set parameter masukan yang telah dijalankan dapat dilihat pada jadual 6. 2. Perisian DESIGN EXPERT telah digunakan untuk rekabentuk ujikaji dan rawakan berjalan. Proses perawakan berguna untuk memastikan bahawa syarat – syarat dalam satu jangka tidak bergantung kepada syarat – syarat proses larian sebelumnya serta meramalkan keadaan dalam proses larian seterusnya. Perawakan adalah hal yang sangat penting untuk membuat kesimpulan daripada sebuah ujikaji, mengikut cara yang betul, jelas dan boleh dipertahankan hasilnya.

Hal yang sangat penting bahawa parameter – parameter berhubungkait dengan titik pusat (0,0,0) diulang sebanyak lima kali untuk membentuk data ujikaji yang meyakinkan dengan pola data serakan normal dan keboleholangan. Pada jadual 6.3 dibawah terlihat bahawa proses ujikaji terjadi keboleholangan pada larian ke 5, 10, 21, 32, 36 dan 44. Dengan nilai pembolehubah panjang kuar ialah 6.25 cm, diameter kuar ialah 0.69 mm, Doppan Photoiniator ialah 0.125 ml, tekanan kebuk vakum ialah 50 mBar dan Isipadu cecair pengesan ialah 55 ml.

Jadual 6.3 Reka bentuk Box-Behnken untuk ujikaji

Larian	Panjang Kuar (cm)	Diameter Kuar (mm)	Doppan Photoiniator (ml)	Tekanan Kebuk vakum (mBar)	Isipadu Cecair Pengesan (ml)
1	10	0.87	0.125	50	55
2	10	0.69	0.125	50	100
3	6.25	0.87	0.05	50	55
4	10	0.69	0.125	50	10
5	6.25	0.69	0.125	50	55
6	6.25	0.69	0.05	50	10
7	2.5	0.69	0.125	50	10
8	2.5	0.69	0.125	100	55
9	6.25	0.51	0.2	50	55
10	6.25	0.69	0.125	50	55
11	6.25	0.51	0.125	50	10
12	6.25	0.69	0.05	0	55
13	6.25	0.51	0.125	100	55
14	6.25	0.69	0.2	50	100
15	10	0.69	0.125	0	55
16	6.25	0.87	0.125	0	55
17	6.25	0.69	0.125	100	100

bersambung...

...sambungan

18	6.25	0.51	0.125	0	55
19	2.5	0.69	0.125	0	55
20	6.25	0.87	0.125	50	10
21	6.25	0.69	0.125	50	55
22	2.5	0.69	0.2	50	55
23	10	0.69	0.05	50	55
24	6.25	0.69	0.05	100	55
25	10	0.51	0.125	50	55
26	6.25	0.87	0.125	100	55
27	6.25	0.51	0.05	50	55
28	2.5	0.69	0.125	50	100
29	6.25	0.69	0.2	50	10
30	2.5	0.87	0.125	50	55
31	6.25	0.69	0.125	0	100
32	6.25	0.69	0.125	50	55
33	6.25	0.69	0.125	0	10
34	2.5	0.69	0.05	50	55
35	6.25	0.69	0.2	100	55
36	6.25	0.69	0.125	50	55
37	6.25	0.69	0.2	0	55
38	6.25	0.51	0.125	50	100
39	2.5	0.51	0.125	50	55
40	6.25	0.69	0.05	50	100
41	6.25	0.87	0.125	50	100
42	6.25	0.87	0.2	50	55
43	10	0.69	0.2	50	55
44	6.25	0.69	0.125	50	55
45	10	0.69	0.125	100	55
46	6.25	0.69	0.125	100	10

6.3 HASIL DAN PERBINCANGAN

Jadual 6. 2 sebagai acuan untuk melakukan ujikaji pengesanan wap kimia gentian optik. Wap kimia yang digunakan iaitu ; cecair Aseton, Ethanol dan Methanol. Tindakbalas keluaran yang diharapkan ialah intensiti pantulan dengan lima buah panjang gelombang 397.14 nm, 410.05 nm, 434.05 nm, 486.13 nm dan 656.03 nm.

6.3.1 Hasil Ujikaji

Pengesanan dilakukan untuk melihat tindak balas yang disebabkan oleh wap Aseton di dalam kebuk dengan tekanan vakum tertentu. Matlamat pemberian tekanan vakum di

dalam kebuk ialah untuk mempercepat laju perubahan indeks bias kuar supaya terjadi perubahan intensiti dari keadaan awal.

Jadual 6.4 Reka bentuk ujikaji Box – Behnken dengan simbol pembolehubah dikodkan dan tak-dikodkan

Larian	Pembolehubah dikodkan					Pembolehubah Nyata				
	x1	x2	x3	x4	x5	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	0	0	0	10	0.87	0.125	50	55
2	1	0	0	0	1	10	0.69	0.125	50	100
3	0	1	-1	0	0	6.25	0.87	0.05	50	55
4	1	0	0	0	-1	10	0.69	0.125	50	10
5	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55
6	0	0	-1	0	-1	6.25	0.69	0.05	50	10
7	-1	0	0	0	-1	2.5	0.69	0.125	50	10
8	-1	0	0	1	0	2.5	0.69	0.125	100	55
9	0	-1	1	0	0	6.25	0.51	0.2	50	55
10	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55
11	0	-1	0	0	-1	6.25	0.51	0.125	50	10
12	0	0	-1	-1	0	6.25	0.69	0.05	0	55
13	0	-1	0	1	0	6.25	0.51	0.125	100	55
14	0	0	1	0	1	6.25	0.69	0.2	50	100
15	1	0	0	-1	0	10	0.69	0.125	0	55
16	0	1	0	-1	0	6.25	0.87	0.125	0	55
17	0	0	0	1	1	6.25	0.69	0.125	100	100
18	0	-1	0	-1	0	6.25	0.51	0.125	0	55
19	-1	0	0	-1	0	2.5	0.69	0.125	0	55
20	0	1	0	0	-1	6.25	0.87	0.125	50	10
21	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55
22	-1	0	1	0	0	2.5	0.69	0.2	50	55
23	1	0	-1	0	0	10	0.69	0.05	50	55
24	0	0	-1	1	0	6.25	0.69	0.05	100	55
25	1	-1	0	0	0	10	0.51	0.125	50	55
26	0	1	0	1	0	6.25	0.87	0.125	100	55
27	0	-1	-1	0	0	6.25	0.51	0.05	50	55
28	-1	0	0	0	1	2.5	0.69	0.125	50	100
29	0	0	1	0	-1	6.25	0.69	0.2	50	10
30	-1	1	0	0	0	2.5	0.87	0.125	50	55
31	0	0	0	-1	1	6.25	0.69	0.125	0	100
32	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55

bersambung...

...sambungan

33	0	0	0	-1	-1	6.25	0.69	0.125	0	10
34	-1	0	-1	0	0	2.5	0.69	0.05	50	55
35	0	0	1	1	0	6.25	0.69	0.2	100	55
36	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55
37	0	0	1	-1	0	6.25	0.69	0.2	0	55
38	0	-1	0	0	1	6.25	0.51	0.125	50	100
39	-1	-1	0	0	0	2.5	0.51	0.125	50	55
40	0	0	-1	0	1	6.25	0.69	0.05	50	100
41	0	1	0	0	1	6.25	0.87	0.125	50	100
42	0	1	1	0	0	6.25	0.87	0.2	50	55
43	1	0	1	0	0	10	0.69	0.2	50	55
44	0	0	0	0	0	6.25	0.69	0.125	50	55
45	1	0	0	1	0	10	0.69	0.125	100	55
46	0	0	0	1	-1	6.25	0.69	0.125	100	10

Jadual 6.4 diatas menjelaskan bentuk rancangan Box – Behnken untuk menjalankan ujikaji pengesanan cecair Aseton, Ethanol dan Methanol. Untuk nilai pembolehubah digantikan dengan simbol yang dikodkan dan pembolehubah nilai nyata. Untuk jadual 6.5, 6.6, 6.7 merupakan hasil ujikaji pengesanan wap Aseton, Ethanol dan Methanol hasil ramalan yang menggunakan perisian DESIGN EXPERT secara statistik.

Hasil ujikaji reka bentuk Box – Behnken dan ramalan pengesan dapat dilihat pada Lampiran B. 1, B. 2 dan B3. Nilai ramalan didapat dari persamaan model yang berbeza – beza kerana kaedah proses pengolahan data yang digunakan pada setiap panjang gelombang ialah kaedah lurus dan kaedah kuadratik. Tujuan menggunakan kedua kaedah ini adalah untuk melihat hubungkait yang sangat dekat antara hasil ujikaji dengan ramalan ujikaji.

6.3.2 Bentuk Model Matematik

Model yang direka bentuk terdiri daripada lima pemboleh ubah X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 . Untuk setiap proses mempunyai pelbagai model untuk mendapatkan nilai hubungkait yang tinggi. Jadual 6. 8 dibawah ini menunjukkan beberapa model yang digunakan untuk mendapatkan nilai ramalan.

Jadual 6.5 Kaedah penggunaan model untuk menghasilkan persamaan matematik

Wap Pengesan	Tindakbalas				
	Pantulan $\lambda(397.14\text{nm})$	Pantulan $\lambda(410.05\text{nm})$	Pantulan $\lambda(434.05\text{nm})$	Pantulan $\lambda(486.13\text{nm})$	Pantulan $\lambda(656.03\text{nm})$
Aseton	Lelurus	Lelurus	Kuasa dua	Kuasa dua	Kuasa dua
Ethanol	Lelurus	Lelurus	Kuasa dua	Kuasa dua	Kuasa dua
Methanol	Lelurus	Lelurus	Kuasa dua	Kuasa dua	Kuasa dua

Persamaan dari segi sebenar boleh digunakan untuk membuat ramalan tentang tindak balas pada tahap tertentu daripada setiap faktor. Disini, tahapan tidak boleh digunakan untuk menentukan kesan relatif setiap faktor kerana skala pekali untuk menampung unit setiap faktor dan nilai pintasan tidak berada ditengah – tengah ruang reka bentuk.

Untuk meneruskan plot diagnostik daripada persamaan – persamaan, ianya perlu memperhatikan beberapa keadaan, seperti plot kebarangkalian normal bagi ralat student untuk memeriksa sisa normaliti, sisa student berbanding dengan nilai ramalan digunakan untuk memeriksa kesilapan yang berterusan, sisa luaran student digunakan juga untuk mencari data terpencil atau nilai – nilai yang berpengaruh pada model persamaan matematik.

Jadual 6.6 Persamaan Model Matematik untuk hasil tindak balaspada setiap panjang gelombang

Bahan Pengesan	Persamaan Model Matematik
Aseton	
Pantulan $\lambda(397.14\text{nm})$	$y(397.14\text{nm}) = 1620.03127 + 20.17283 * X_1 - 321.67708 * X_2 + 21.70000 * X_3 + 0.80687 * X_4 + 0.64750 * X_4$
Pantulan $\lambda(410.05\text{nm})$	$y(410.05\text{nm}) = 1628.40999 + 20.66283 * X_1 - 315.33681 * X_2 - 11.94167 * X_3 + 0.61274 * X_4 + 0.59344 * X_5$
Pantulan $\lambda(434.05\text{nm})$	$y(434.05\text{nm}) = 462.80908 + 111.85802 * X_1 + 3439.89815 * X_2 + 6687.63241 * X_3 + 1.95036 * X_4 - 6.89487 * X_5 - 124.32593 * X_1 * X_2 - 286.31111 * X_1 * X_3 + 0.075707 * X_1 * X_4 + 0.65839 * X_1 * X_5 - 3761.66667 * X_2 * X_3 + 4.57167 * X_2 * X_4 - 6.96451 * X_2 * X_5 - 17.36467 * X_3 * X_4 - 20.97704 * X_3 * X_5 - 0.020894 * X_4 * X_5 - 2.10794 * X_1^2 - 1706.39146 * X_2^2 - 983.03704 * X_3^2 - 0.020017 * X_4^2 + 0.11691 * X_5^2$

bersambung...

...sambungan

Pantulan $\lambda(486.13\text{nm})$	$y(486.13\text{nm}) = 755.38509 + 123.79383 * X_1 + 5031.91204$ $* X_2 + 8080.87685 * X_3 + 3.41617 * X_4$ $- 12.85265 * X_5 - 160.04444 * X_1 * X_2$ $- 338.59556 * X_1 * X_3 + 0.057600 * X_1 * X_4$ $+ 0.32464 * X_1 * X_5 - 5637.22222 * X_2 * X_3$ $+ 5.47667 * X_2 * X_4 - 8.60216 * X_2 * X_5$ $- 27.74000 * X_3 * X_4 - 9.06074 * X_3 * X_5$ $- 0.027512 * X_4 * X_5 - 0.43567 * X_1^2$ $- 2522.96811 * X_2^2 - 843.55556 * X_3^2$ $- 0.020745 * X_4^2 + 0.19073 * X_5^2$
Pantulan $\lambda(656.03\text{nm})$	$y(656.03\text{nm}) = 376.33258 + 109.07676 * X_1 + 4630.22492$ $* X_2 + 7813.96944 * X_3 + 2.53363 * X_4$ $- 9.44871 * X_5 - 129.22222 * X_1 * X_2$ $- 360.60444 * X_1 * X_3 + 0.068520 * X_1 * X_4$ $+ 0.32960 * X_1 * X_5 - 4916.48148 * X_2 * X_3$ $+ 5.71472 * X_2 * X_4 - 6.86111 * X_2 * X_5$ $- 29.06933 * X_3 * X_4 - 15.48741 * X_3 * X_5$ $- 0.022776 * X_4 * X_5 - 0.42230 * X_1^2$ $- 2495.71116 * X_2^2 + 886.18519 * X_3^2$ $- 0.014564 * X_4^2 + 0.14974 * X_5^2$
Ethanol	
Pantulan $\lambda(397.14\text{nm})$	$y(397.14\text{nm}) = 1691.10685 + 14.28883 * X_1 - 121.14931$ $* X_2 - 399.82500 * X_3 - 0.707488 * X_4$ $+ 0.509917 * X_5$
Pantulan $\lambda(410.05\text{nm})$	$y(410.05\text{nm}) = 1672.62 + 14.2392 * X_1 - 88.8229 * X_2$ $- 434.733 * X_3 - 0.759837 * X_4 + 0.445264$ $* X_5$
Pantulan $\lambda(434.05\text{nm})$	$y(434.05\text{nm}) = 3098.4 - 8.44198 * X_1 + 1330.18 * X_2$ $- 1418.42 * X_3 - 3.18158 * X_4 - 9.69591 * X_5$ $- 23.5148 * X_1 * X_2 - 72.6489 * X_1 * X_3$ $- 0.0935867 * X_1 * X_4 + 0.332919 * X_1 * X_5$ $- 2489.26 * X_2 * X_3 + 6.76944 * X_2 * X_4$ $- 6.92438 * X_2 * X_5 - 8.688 * X_3 * X_4$ $- 1.87481 * X_3 * X_5 - 0.0194856 * X_4 * X_5$ $+ 1.4917 * X_1^2 + 1270.41 * X_2^2 + 14351.3$ $* X_3^2 + 0.00421983 * X_4^2 + 0.136087 * X_5^2$
Pantulan $\lambda(486.13\text{nm})$	$y(486.13\text{nm}) = 3442.58 - 20.4043 * X_1 + 43.0143 * X_2 +$ $635.625 * X_3 - 3.46232 * X_4 - 12.6787 * X_5 - 16.4111 * X_1 * X_2$ $- 142.658 * X_1 * X_3 + 0.00893333 * X_1 * X_4 -$ $0.0394519 * X_1 * X_5 - 4171.85 * X_2 * X_3 + 7.4625 * X_2 * X_4 -$ $10.5157 * X_2 * X_5 - 18.1587 * X_3 * X_4 + 0.937778 * X_3 * X_5 -$ $0.0265833 * X_4 * X_5 + 3.02308 * X_1^2 + 494.2 * X_2^2 +$ $13978.4 * X_3^2 + 0.0129458 * X_4^2 + 0.20626 * X_5^2$

bersambung...

...sambungan

Pantulan $\lambda(656.03\text{nm})$	$y(656.03\text{nm}) = 3372.01 - 30.6251 * X_1 - 856.992 * X_2$ $- 559.467 * X_3 - 6.29731 * X_4 - 10.0643 * X_5$ $- 25.8556 * X_1 * X_2 - 68.6667 * X_1 * X_3$ $- 0.0148933 * X_1 * X_4 + 0.0090963 * X_1 * X_5$ $- 3210 * X_2 * X_3 + 10.2139 * X_2 * X_4 - 10.0562$ $* X_2 * X_5 - 14.6713 * X_3 * X_4 - 0.386667 * X_3$ $* X_5 - 0.02532 * X_4 * X_5 + 3.66424 * X_1^2$ $+ 976.44 * X_2^2 + 14326.7 * X_3^2 + 0.018253$ $* X_4^2 + 0.173746 * X_5^2$
Methanol	
Pantulan $\lambda(397.14\text{nm})$	$y(397.14\text{nm}) = 1487.29 + 23.5422 * X_1 - 184.115 * X_2$ $- 347.858 * X_3 + 0.542012 * X_4 + 2.05936 * X_5$
Pantulan $\lambda(410.05\text{nm})$	$y(410.05\text{nm}) = 1493.93 + 22.9465 * X_1 - 165.816 * X_2$ $- 414.242 * X_3 + 0.460337 * X_4 + 1.94969 * X_5$
Pantulan $\lambda(434.05\text{nm})$	$y(434.05\text{nm}) = 1823.51 + 132.3 * X_1 - 436.562 * X_2$ $+ 7238.74 * X_3 - 6.82407 * X_4 - 5.84429 * X_5$ $- 25.0296 * X_1 * X_2 - 458.738 * X_1 * X_3$ $+ 0.146973 * X_1 * X_4 + 0.201081 * X_1 * X_5$ $- 2358.33 * X_2 * X_3 + 8.19194 * X_2 * X_4 - 4.85$ $* X_2 * X_5 + 9.43267 * X_3 * X_4 + 0.372593 * X_3$ $* X_5 + 0.000248889 * X_4 * X_5 - 5.65467 * X_1^2$ $+ 429.874 * X_2^2 - 14475.8 * X_3^2 - 0.00613917$ $* X_4^2 + 0.0986574 * X_5^2$
Pantulan $\lambda(486.13\text{nm})$	$y(486.13\text{nm}) = 1725.73 + 158.367 * X_1 + 1449.14 * X_2$ $+ 9356.86 * X_3 - 2.34541 * X_4 - 8.14692 * X_5$ $- 47.0259 * X_1 * X_2 - 513.031 * X_1 * X_3$ $+ 0.08044 * X_1 * X_4 - 0.314696 * X_1 * X_5$ $- 4475.19 * X_2 * X_3 + 4.54611 * X_2 * X_4$ $- 9.06759 * X_2 * X_5 - 0.521333 * X_3 * X_4$ $- 2.17852 * X_3 * X_5 - 0.00835778 * X_4 * X_5$ $- 4.42421 * X_1^2 - 397.492 * X_2^2 - 12690.6$ $* X_3^2 - 0.0034505 * X_4^2 + 0.182593 * X_5^2$
Pantulan $\lambda(656.03\text{nm})$	$y(656.03\text{nm}) = 1180.4 + 150.794 * X_1 + 1231.6 * X_2$ $+ 9732.82 * X_3 - 1.15765 * X_4 - 3.18591 * X_5$ $- 46.9593 * X_1 * X_2 - 518.818 * X_1 * X_3$ $+ 0.0767067 * X_1 * X_4 - 0.307259 * X_1 * X_5$ $- 3606.48 * X_2 * X_3 + 3.30944 * X_2 * X_4$ $- 9.95247 * X_2 * X_5 - 4.518 * X_3 * X_4 - 0.8$ $* X_3 * X_5 - 0.00591667 * X_4 * X_5 - 3.60622$ $* X_1^2 - 239.712 * X_2^2 - 16369 * X_3^2$ $- 0.00350433 * X_4^2 + 0.136242 * X_5^2$

Jadual 6.6 diatas digunakan pada tahap untuk menghasilkan tindak balas. Untuk sahinya persamaan – persamaan diatas perlu dilakukan percubaan dengan nilai pembolehubah rawak. Hasil percubaan tersebut akan dibandingkan dengan hasil ramalan yang sedia ada.

6.4 ANALISIS HASIL UJIKAJI

Hasil ujikaji perlu dianalisis untuk melihat keertian setiap pembolehubah. Seperti pada jadual 6.7 bahawa model nilai-F bernilai 1.87 mengimplikasikan bahawa model tersebut relatif tidak-ketara terhadap gangguan sekitaran. Terdapat 12.20% peluang bahawa sebuah nilai-F yang besar berlaku kerana gangguan. Nilai – nilai “Kebarangkalian>F” lebih kecil berbanding daripada 0.0500 menunjukkan bahagian model tersebut ialah “ketara”.

Jadual 6.7 Hasil – hasil analisa pembeza (ANOVA) untuk model lurus yang didapatkan untuk wap Aseton ($\lambda=410.05\text{nm}$)

Sumber	Jumlah Kuasa Dua	Darjah kebebasan	Purata Kuasa Dua	Nilai-F	Nilai-p “Prob > F”	
Model	1.741E+005	5	34810.78	1.87	0.1220	Tidak ketara
<i>A-Panjang Kuar</i>	96064.35	1	96064.35	5.15	0.0287	ketara
<i>B-Diameter Kuar</i>	51548.30	1	51548.30	2.76	0.1042	Tidak ketara
<i>C-Pendopan Fotoinisiator</i>	12.83	1	12.83	6.881E-04	0.9792	Tidak ketara
<i>D-Tekanan Vakum Kebuk</i>	15017.89	1	15017.89	0.81	0.3749	Tidak ketara
<i>E-Ketulen Cecair Pengesan</i>	11410.51	1	11410.51	0.61	0.4387	Tidak ketara
Baki	7.461E+005	40	18651.85			
<i>Kekurang sesuaian</i>	6.327E+005	35	18077.87	0.80	0.6945	Tidak ketara
<i>Kesalahan tulen</i>	1.133E+005	5	22669.74			
Korelasi Total	9.201E+005	45				

Di dalam jadual 6.10 dibawah ialah bahagian model yang ketara. Nilai – nilai yang didapat lebih besar daripada 0.1000 menunjukkan bahagian model tersebut “tidak ketara”. Jika terdapat banyak bahagian model yang tidak ketara (tidak termasuk model – model yang diperlukan untuk menyokong hierarki permodelan), pengurangan model boleh memperbaiki model yang dicadangkan.

Kekurang-sesuaian Nilai-F daripada 0.80 menunjukkan kurang-sesuaian relatif tidak ketara terhadap kesalahan tulen. Terdapat sebuah peluang 69.45% bahawa

“kekurang-sesuaian nilai-F” yang besar boleh berlaku kerana gangguan. Tidak-ketara dari kekurang-sesuaian ialah baik, kerana kita mahukan model tersebut sesuai untuk digunakan.

Jadual 6.8 Hasil – hasil analisa pembeza (ANOVA) untuk model Tindakbalas Permukaan Kuadratik yang didapatkan untuk wap Aseton ($\lambda=434.05\text{nm}$)

Sumber	Jumlah Kuasa Dua	Darjah Kebebasan	Purata Kuasa Dua	Nilai-F	Nilai P “Prob > F”	
Model	1.058E+006	20	52876.05	3.07	0.0044	Ketara
<i>A-Panjang Kuar</i>	3477.76	1	3477.76	0.20	0.6569	
<i>B-Diameter Kuar</i>	51972.60	1	51972.60	3.02	0.0945	
<i>C-Pendopan Fotoinisiator</i>	109.67	1	109.67	6.375E-03	0.9370	
<i>D-Tekanan Kebuk vakum</i>	2630.66	1	2630.66	0.15	0.6991	
<i>E-Ketulenannya Cecair Pengesan</i>	83706.06	1	83706.06	4.87	0.0368	
AB	28170.27	1	28170.27	1.64	0.2124	
AC	25937.10	1	25937.10	1.51	0.2309	
AD	805.99	1	805.99	0.047	0.8304	
AE	49375.06	1	49375.06	2.87	0.1027	
BC	10315.45	1	10315.45	0.60	0.4460	
BD	6771.64	1	6771.64	0.39	0.5361	
BE	12729.48	1	12729.48	0.74	0.3979	
CD	16961.16	1	16961.16	0.99	0.3303	
CE	20049.14	1	20049.14	1.17	0.2907	
DE	8840.70	1	8840.70	0.51	0.4801	
A ²	7668.68	1	7668.68	0.45	0.5105	
B ²	26676.32	1	26676.32	1.55	0.2246	
C ²	266.85	1	266.85	0.016	0.9019	
D ²	21856.38	1	21856.38	1.27	0.2704	
E ²	4.891E+005	1	4.891E+005	28.43	< 0.0001	
Baki	4.301E+005	25	17204.89			
<i>Kekurang sesuaian</i>	3.370E+005	20	16850.07	0.90	0.6113	Tak ketara
<i>Kesalahan tulen</i>	93120.77	5	18624.15			
Cor Total	1.488E+006	45				

Pada Jadual 6.8, model nilai-F bernilai 3.07 menunjukkan bahawa model diatas ketara. Terdapat hanya 0.44% peluang dimana satu nilai-F bernilai besar boleh terjadi kerana gangguan. Nilai daripada “Prob > F” lebih kecil berbanding 0.0500 menyatakan bahawa model pada bahagian tersebut ketara. Di dalam kes E, E² ialah bahagian – bahagian model yang ketara.

Nilai yang lebih besar berbanding 0.1000 mengatakan bahawa bahagian – bahagian model dinyatakan tak-ketara. Jika terdapat banyak bahagian – bahagian model yang tak-ketara (tidak termasuk model – model yang diperlukan untuk mensokong hierarki permodelan), pengurangan model boleh memperbaiki model yang dicadangkan

Kekurang-sesuaian nilai-F bernilai 0.90 mengimplikasikan bahawa kurang-sesuaian tidak ketara kepada kesalahan tulen. Terdapat 61.13% peluang bahawa sebuah kurang-sesuaian nilai-F bernilai besar boleh berlaku kerana gangguan. “Tak-ketara” daripada kurang-sesuaian menunjukkan keadaan yang baik kerana kita mengharapkan kesesuaian model

6.4.1 ANOVA untuk Model Tindak Balas Permukaan

Analisis pembeza pada jadual 6. 9 dibawah menunjukkan sebuah tanda negatif untuk “Ramalan R-Kuasa Dua”, ianya memberikan implikasi bahawa purata keseluruhan sebagai peramal yang lebih baik daripada tindak balas pengesanan berbanding dengan model yang sekarang digunakan.

”Kejituan yang cukup” pada jadual 6. 9 mengira nisbah antara isyarat terhadap gangguan (S/N ratio). Sebuah nisbah lebih besar daripada 4 merupakan nilai yang diharapkan. Pada pengesanan Aseton, nilai kejituan 5.320, 5.443, 7.013, 7.989, dan 7.179 menunjukkan sebagai isyarat yang mencukupi, sehingga model pada pengesanan boleh digunakan sebagai panduan. Pada pengesanan Ethanol, 3.601, 3.820, 5.306, 6.390, dan 5.800 memberikan maklumat bahawa terdapat dua kejituan yang tidak mencukupi pada pengesanan pada panjang gelombang 397.14 nm dan 410.05 nm. Pada pengesanan wap Methanol nilai “Kejituan yang cukup” menghasilkan nilai diatas 4 ataupun menunjukkan isyarat yang mencukupi, sehingga model ini boleh digunakan sebagai panduan dalam ruang reka bentuk.

Jadual 6.9 Hasil Analisa pembeza (ANOVA) pada setiap cecair kimia pengesan

Cecair Aseton	$\lambda=397.14$	$\lambda=410.05$	$\lambda=434.05$	$\lambda=486.13$	$\lambda=656.03$
Sisihan Piawai.	139.01	136.57	131.17	152.99	139.75
Purata	1602.82	1601.75	2265.57	3092.77	2584.38
Pekali Pelbagai %	8.67	8.53	5.79	4.95	5.41
PRESS*	1.018E+06	9.805E+05	1.482E+06	2.056E+06	1.709E+006
R-Kuasa dua	0.1930	0.1892	0.7109	0.7924	0.7517
Pelaras R-Squared	0.0921	0.0878	0.4796	0.6264	0.5531
Ramalan R-Kuasa dua	-0.0633	-0.0656	0.0037	0.2708	0.1309
Kejituan yang cukup	5.320	5.443	7.013	7.989	7.179
Cecair Ethanol	$\lambda=397.14$	$\lambda=410.05$	$\lambda=434.05$	$\lambda=486.13$	$\lambda=656.03$
Sisihan Piawai.	136.81	132.50	139.89	147.68	143.20
Purata	1639.51	1632.49	2279.26	3111.49	2612.46
Pekali Pelbagai %	8.34	8.12	6.14	4.75	5.48
PRESS*	9.679E+05	9.013E+05	1.567E+06	1.812E+06	1.657E+06
R-Kuasa dua	0.1141	0.1205	0.6496	0.7777	0.7218
Pelaras R-Squared	0.0033	0.0106	0.3693	0.5999	0.4992
Ramalan R-Kuasa dua	-0.1454	-0.1288	-0.1219	0.2612	0.1006
Kejituan yang cukup	3.601	3.820	5.306	6.390	5.800
Cecair Methanol	$\lambda=397.14$	$\lambda=410.05$	$\lambda=434.05$	$\lambda=486.13$	$\lambda=656.03$
Sisihan Piawai.	141.73	136.68	125.37	165.24	147.13
Purata	1604.27	1601.41	2251.13	3076.58	2575.25
Pekali Pelbagai %	8.83	8.53	5.57	5.37	5.71
PRESS*	1.052E+06	9.787E+05	1.442E+06	2.563E+06	2.024E+06
R-Kuasa dua	0.2734	0.2724	0.7319	0.7606	0.7266
Pelaras R-Kuasa dua	0.1826	0.1815	0.5174	0.5691	0.5078
Ramalan R-Kuasa dua	0.0484	0.0471	0.0165	0.1012	-0.0224
Kejituan yang cukup	7.070	7.041	8.413	8.324	8.451

*PRESS = Predicted Residual Error Sum of Squares/Jumlah Kuasa Dua dari Ramalan Ralat Baki

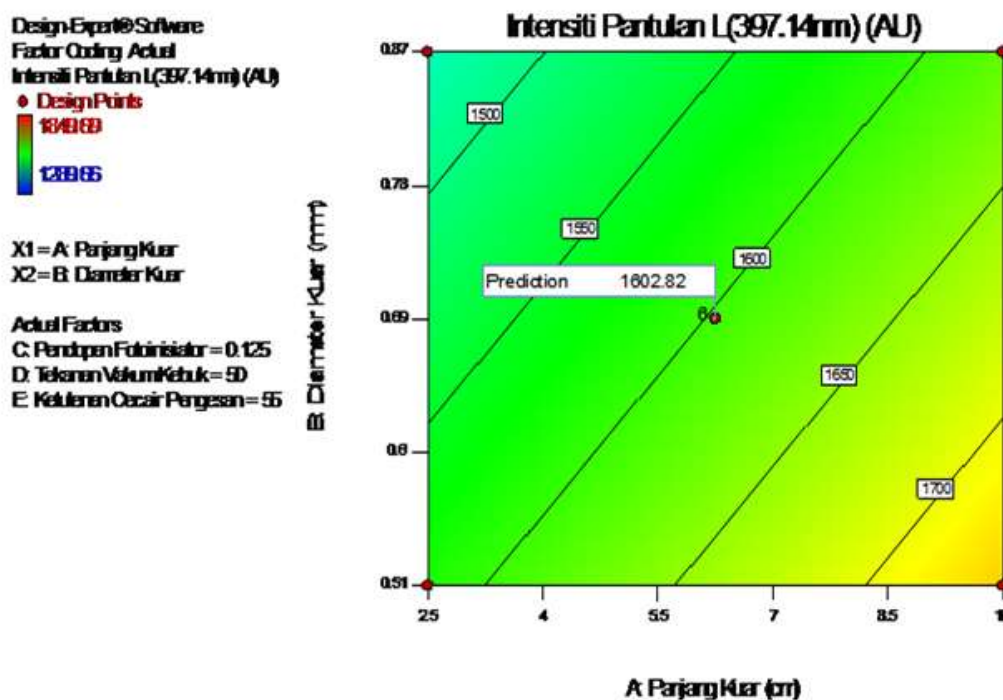
Pada pengesanan Aseton (panjang gelombang 434.05 nm), “Ramalan R-Kuasa Dua” daripada 0.0037 tidak seperti yang berhampiran dengan “Pelaras R-Kuasa Dua” daripada 0.4796 sebagai salah satu yang biasa diharapkan; iaitu nilai perbezaan yang lebih besar daripada 0.2. Ini mungkin menandakan sebuah kesan blok besar atau masalah yang mungkin berlaku dengan model dan/atau data yang didapatkan. Perkara

– perkara yang perlu dipertimbangkan adalah pengurangan model transformasi tindak balas, data terpencil dan lain – lain. Seluruh model empirik perlu diuji dengan melakukan larian pengesahan.

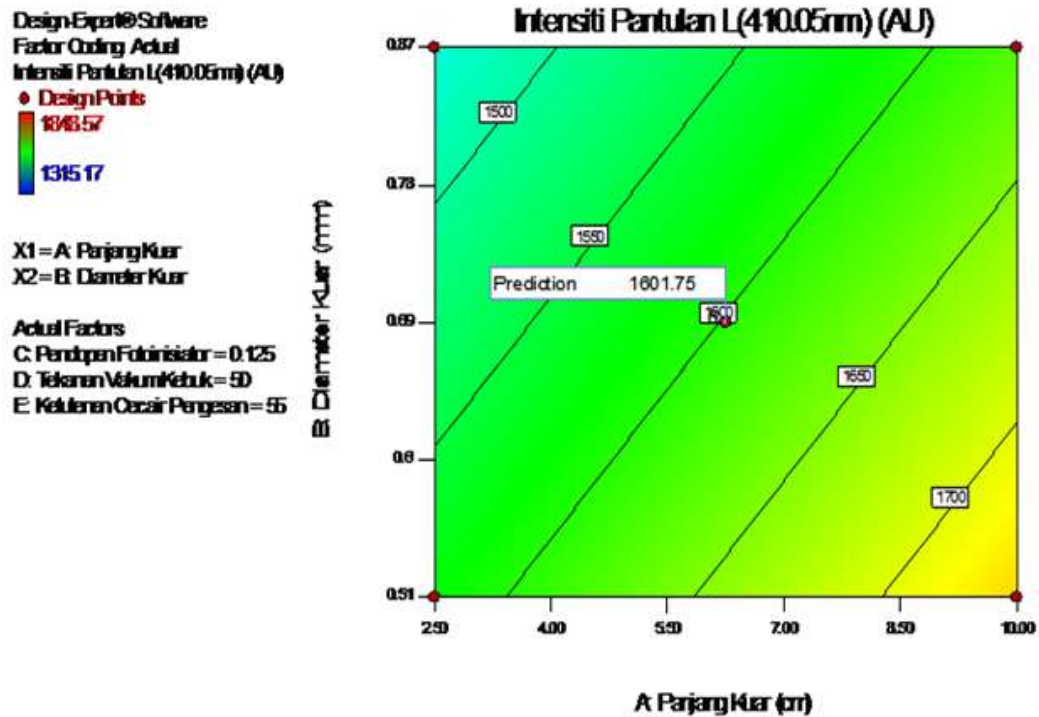
“Kejituan yang Cukup” mengukur nisbah isyarat gangguan. Nisbah yang lebih besar daripada 4 merupakan nilai yang diharapkan. Nisbah 7.013 menandakan isyarat yang mencukupi, sehingga model ini boleh digunakan untuk panduan dalam ruang reka bentuk.

6.4.2 Plot Permukaan

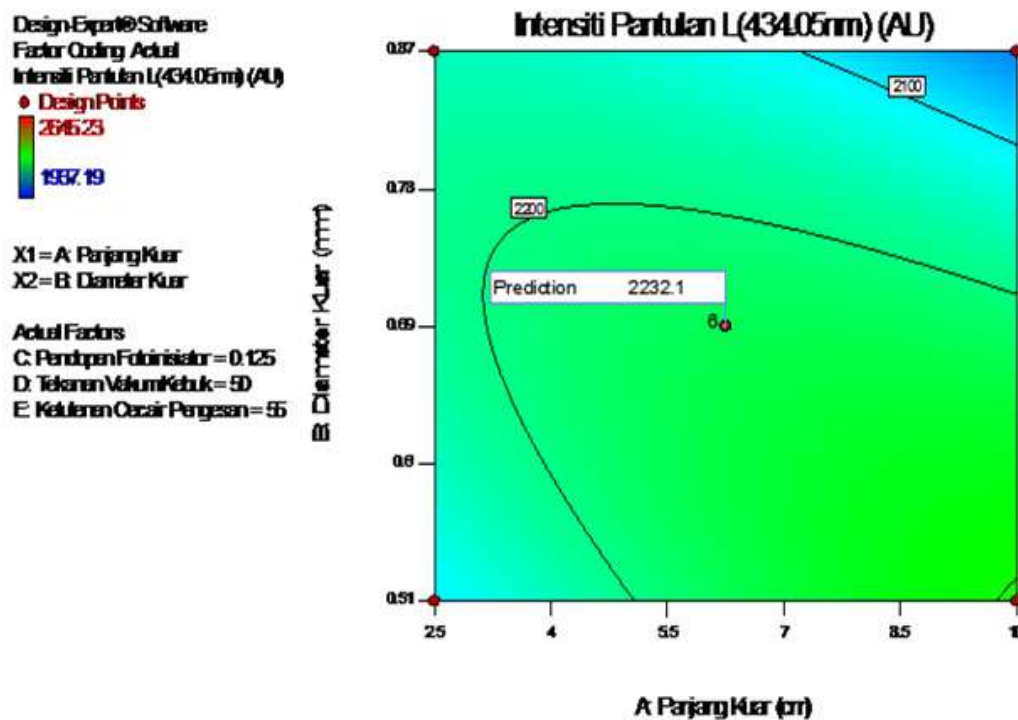
Plot 2-dimensi dan 3-dimensi boleh digambarkan untuk kombinasi parameter – parameter yang menunjukkan kepelbagaian tren daripada tindak balas dengan julat parameter masukan yang dipilih serta pengaruh setiap parameter keatas parameter – parameter lainnya. Beberapa bentuk plot yang khas ditunjukkan pada rajah 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 ketika pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan dijaga tetap.



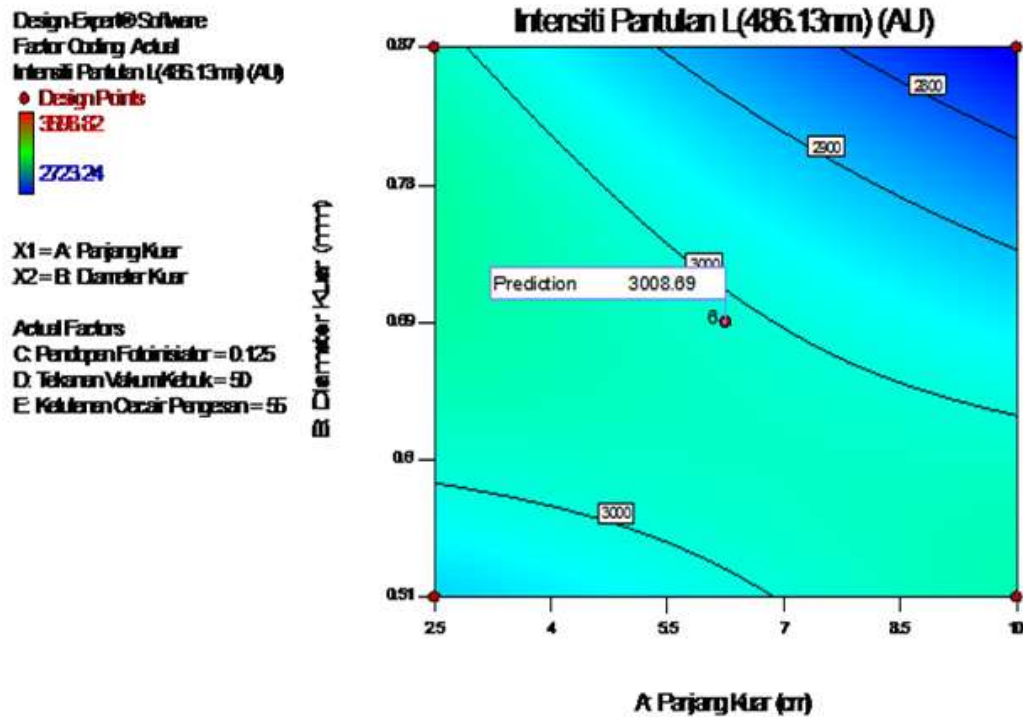
Rajah 6.4 Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 397.14 nm dan wap Aseton



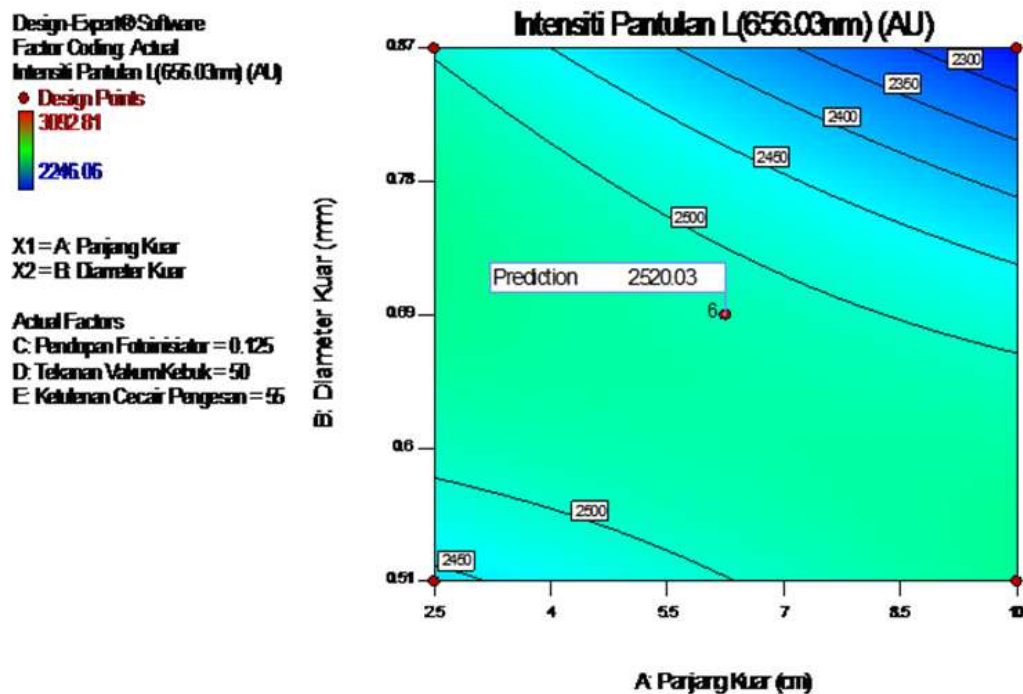
Rajah 6.5 Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 410.05 nm dan wap Aseton



Rajah 6.6 Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 434.05 nm dan wap Aseton



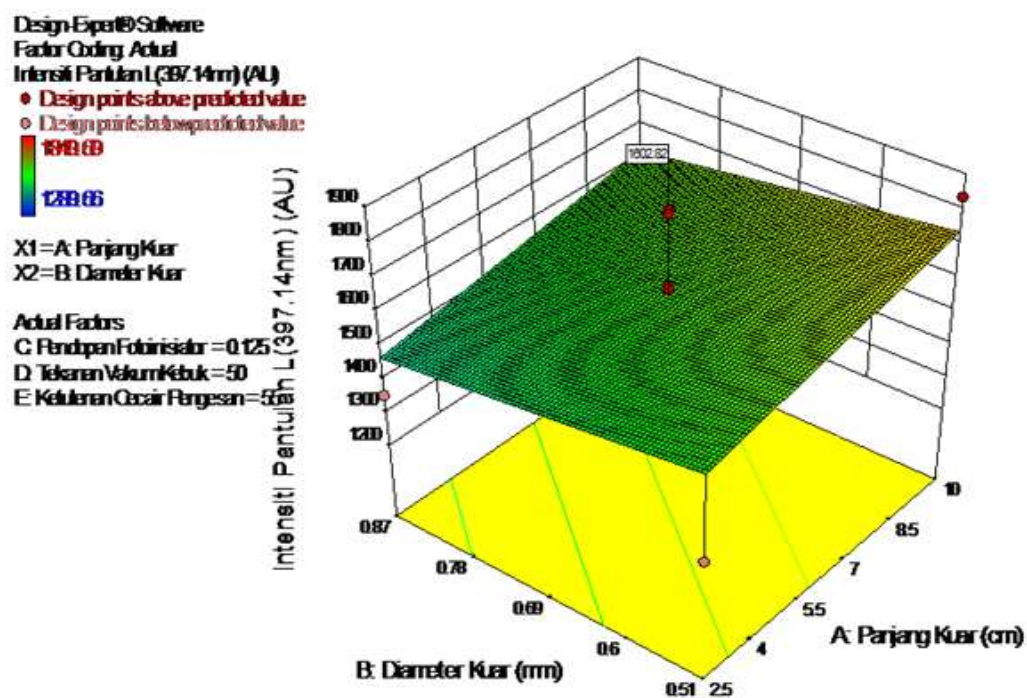
Rajah 6.7 Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 486.13 nm dan wap Aseton



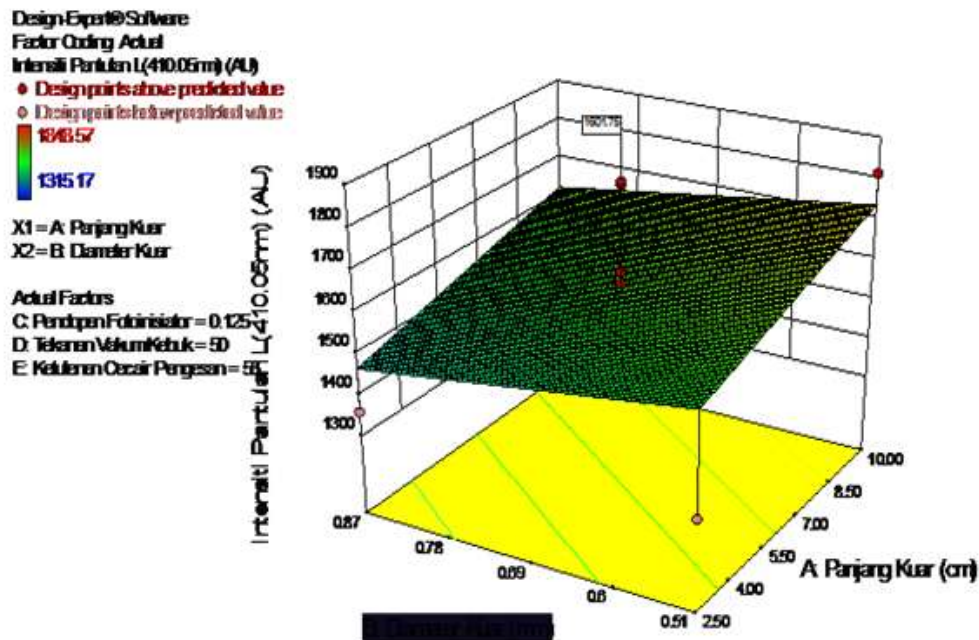
Rajah 6.8 Plot pola kontur intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 656.03 nm dan wap Aseton

Pola garis kontur pada Rajah 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 menunjukkan tren garis balik. Kawasan garis balik yang diamati menunjukkan keadaan optimum untuk mencapai kekasaran permukaan keseluruhan kes panjang gelombang (ketika pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan dijaga tetap). Seperti panjang kuar dan diameter kuar menghampiri nilai minimum, panjang kuar menghasilkan nilai minimum dan menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik.

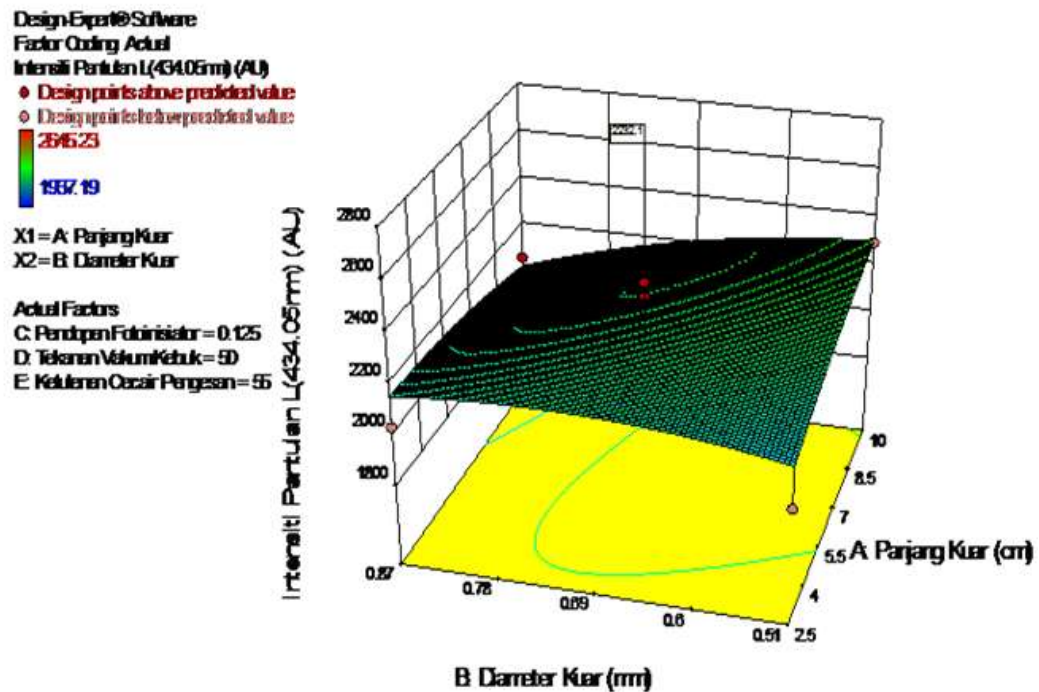
Pada Rajah 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 dan 6.13 menggambarkan hal yang sama untuk setiap lima panjang gelombang. Keadaan pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan dijaga dalam keadaan tetap. Pada graf 3-dimensi dapat melihat keadaan optimum daripada permukaan graf. Graf – graf dibawah ini hanya menunjukkan pengesanan wap aseton.



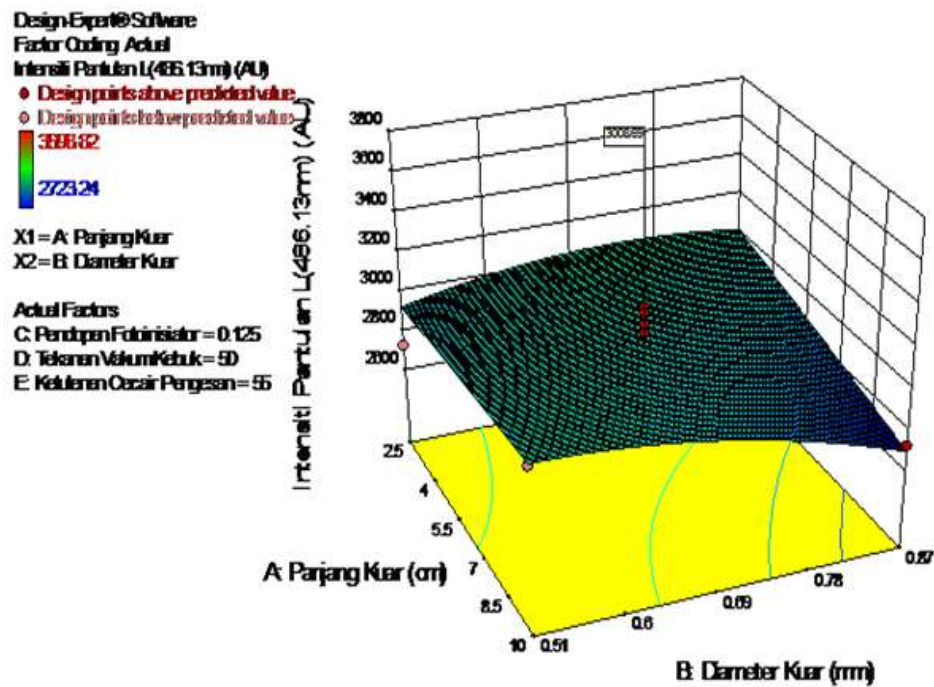
Rajah 6.9 Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameterkuar pada panjang gelombang 397.14 nm dan wap Aseton



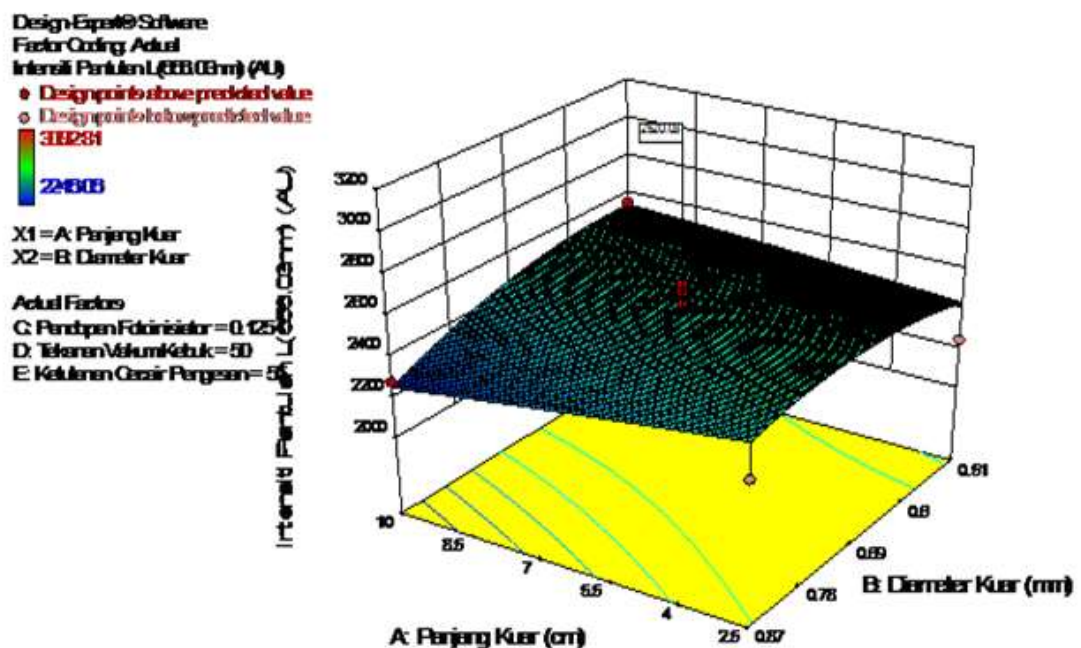
Rajah 6.10 Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 410.05 nm dan wap Aseton



Rajah 6.11 Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 434.05 nm dan wap Aseton



Rajah 6.12 Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 486.13 nm dan wap Aseton



Rajah 6.13 Plot pola 3-Dimensi intensiti untuk perubahan panjang kuar dan diameter kuar pada panjang gelombang 656.03 nm dan wap Aseton

Untuk pengesanan wap cecair hanya menunjukkan data analisa pembeda seperti yang ditunjukkan pada bahagian 6.4.1. Seperti yang terlihat pada rajah 6.9, 6.10, kaedah pemprosesan yang digunakan ialah lurus dan rajah 6.11, 6.12, 6.13, kaedah yang digunakan ialah kuadratik.

Bentuk kedua pola rajah kontur dan rajah 3-D dalam kaedah pemprosesan akan terlihat perbezaannya, seperti bentuk lengkung permukaan graf 3-dimensi tersebut. Nilai optimum boleh dilihat pada titik puncak kelengkungan graf yang akan ditunjukkan pada bahagian 6.4.4. Pada rajah yang menggunakan kaedah lurus menghasilkan nilai yang tak-ketara, sehingga penggunaan rajah 6.11, 6.12 dan 6.13 boleh digunakan sebagai panduan dalam reka bentuk pengesanan Aseton menggunakan gentian optik plastik.

6.4.3 Kesahihan Model

Sebagai tambahan untuk pengesanan menggunakan teknik analisa pembeza (ANOVA), model – model tersebut disahkan dengan melakukan ujikaji dengan perangkat parameter baru dengan mengukur nilai tindak balas yang pelbagai dan dibandingkan dengan nilai ramalan model – model tersebut. Secara rinci ujikaji yang dilakukan, diramalkan dan dikira daripada keluaran pembolehubah diberikan pada jadual 6.13.

Jadual6.10 Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Aseton

X1	X2	X3	X4	X5	λ (434.05nm)		λ (486.13nm)		λ (656.03nm)	
					R*	U*	R*	U*	R*	U*
2.5	0.83	0.2	100	100	2165.12	2160.01	3227.04	3225.01	2649.58	2640.97
2.5	0.8	0.15	100	100	2245.22	2250.12	3317.19	3320.93	2733.65	2740.27
5	0.79	0.05	50	100	2495.46	2490.02	3428.77	3410.40	2854.04	2840.66
7.5	0.81	0.2	50	100	2326.64	2329.72	3203.82	3210.72	2636.61	2639.18

R* = Ramalan; U* = Ujikaji

Jadual6.11 Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Ethanol

X1	X2	X3	X4	X5	λ (434.05nm)		λ (486.13nm)		λ (656.03nm)	
					R*	U*	R*	U*	R*	U*
2.5	0.83	0.2	100	100	4614.06	4611.33	3381.631	3370.67	2861.15	2840.16
2.5	0.8	0.15	100	100	4510.44	4530.21	3386.003	3400.03	2849.37	2860.18
5	0.79	0.05	50	100	4670.43	4611.89	3486.888	3450.96	2911.03	2920.63
7.5	0.81	0.2	50	100	4614.06	4599.98	3297.87	3210.78	2757.09	2760.27

R* = Ramalan; U* = Ujikaji

Jadual6.12 Nilai ramalan dan ujikaji untuk kesahihan data untuk Methanol

X1	X2	X3	X4	X5	λ (434.05nm)		λ (486.13nm)		λ (656.03nm)	
					R*	U*	R*	U*	R*	U*
2.5	0.83	0.2	100	100	2469.97	2470.01	3537.78	3540.39	2846.70	2810.93
2.5	0.8	0.15	100	100	2462.09	2440.12	3582.20	3550.88	2902.08	2920.00
5	0.79	0.05	50	100	2436.08	2450.32	3454.13	3425.74	2797.97	2783.80
7.5	0.81	0.2	50	100	2366.08	2390.97	3242.91	3290.94	2605.50	2620.59

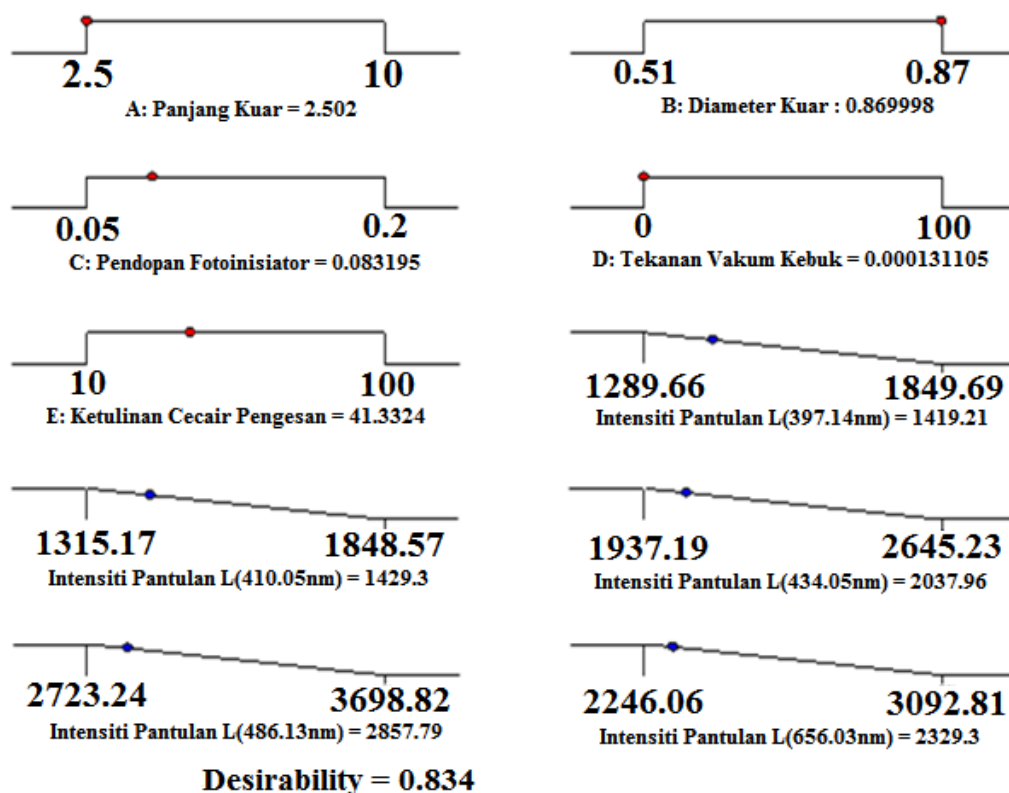
R* = Ramalan; U* = Ujikaji

Parameter X1, X2, X3, X4 dan X5 yang akan diujikaji untuk mendapatkan nilai kesahihan data merupakan nilai sembarang dengan membuat semula kuar. Pembuatan semula ini sebagai matlamat pengujian model yang telah direka bentuk pada bahagian 6.3.2. 227

Pada jadual 6.10, 6.11 dan 6.12 tidak memberikan maklumat untuk tindak balas panjang gelombang $\lambda = 397.14 \text{ nm}$ dan 410.05 nm . Nilai tindak balas pada panjang gelombang tersebut dari awal telah memberikan keadaan yang tak-ketara. Kedua panjang gelombang tersebut walaupun menggunakan kaedah pemprosesan ubahsuai, model reka bentuk; purata, lurus, 2-Interaksi Faktor, Kuadratik, Kubik, Kuartik, turutan-5, turutan-6 akan menghasilkan analisis pembeza yang tak-ketara.

6.4.4 Pengoptimuman

Kepelbagaian matlamat pengoptimuman bertujuan untuk menerima kualiti yang lebih baik dengan hasil yang menghampiri nyata. Sesuai dengan kriteria untuk setiap tindak balas telah dipilih nilai optimum pada Rajah 6.14 dibawah.



Rajah 6.14 Bentuk hasil optimasi untuk pengesanan wap Aseton dari perisian DESIGN-EXPERT

Jadual6.13 Nilai optimum yang memenuhi kriteria yang dipilih

Cecair	Nilai Optimum	Unit	Keluaran			
			Intensiti (AU)	λ	Keboleh-harapan	Keterangan
ASETON						
X1	2.502	cm	1419.21	397.14nm	0.834	Tak-ketara
X2	0.869998	mm	1429.3	410.05nm		Tak-ketara
X3	0.083195	ml	2037.96	434.05nm		ketara
X4	0.000131105	mBar	2857.79	486.13nm		ketara
X5	41.3324	%	2329.2	656.03nm		ketara
ETHANOL						
X1	5.50873	cm	1569.56	397.14nm	0.686	Tak-ketara
X2	0.759016	mm	1560.49	410.05nm		Tak-ketara
X3	0.16797	ml	2109.25	434.05nm		ketara
X4	99.9994	mBar	2895.42	486.13nm		ketara
X5	58.0557	%	2439.65	656.03nm		ketara
METHANOL						
X1	9.37199	cm	1548.63	397.14nm	0.796	Tak-ketara
X2	0.869364	mm	1548.54	410.05nm		Tak-ketara
X3	0.199859	ml	1749.31	434.05nm		ketara
X4	0.819169	mBar	2575.43	486.13nm		ketara
X5	33.914	%	2129.99	656.03nm		ketara

Nilai untuk parameter X1 dan X2 jadual 6.13 memberikan maklumat yang tak-ketara. Ianya bermakna nilai tersebut bukan sebagai nilai optimum dalam pengesanan wap aseton, ethanol mahupun methanol. Nilai keboleh-harapan dapat memberikan nilai yang lebih besar dengan nilai maksimum 1, apabila pemilihan kriteria faktor – faktor pengesanan berada pada julat yang telah ditetapkan sebelumnya, iaitu kriteria reka bentuk Box – Behnken.

6.5 KESIMPULAN

Reka bentukBox – Behnken telah dijalankan dengan berjaya dan ujikaji direka bentuk dengan memilih pembolehubah masukan dengan pemilihan tingkatan – tingkatannya. Dengan jumlah ujikaji yang minimum, data dikumpulkan dan model – model telah dijelaskan dan dikembangkan. Model tindak balas permukaan telah dikembangkan untuk menunjukkan efek keberkesanan tindak balas daripada setiap parameter

masukan dan ianya berinteraksi dengan parameter – parameter, yang telah menggambarkan haluantindak balas.

Pengesahan untuk kesesuaian setiap model menggunakan teknik ANOVA (analisis pembeza). Teknik ini menunjukkan seluruh model – model dapat digunakan dengan tingkatan kepercayaan 0.95 ketahapan ruang reka bentuk. Pensahihan model telah dilakukan dengan mengumpulkan data ujikaji tambahan dimana model tersebut mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi untuk menerima pakai dengan parameter – parameter yang telah dipilih.

Set optimasi parameter – parameter masukan dapat dikenalpasti dengan mengambil pertimbangan panjang kuar, diameter kuar, pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan, serta penyalutan lapisan bahan Zink Oksid pada gentian optik plastik. Plot permukaan menunjukkan tren tindak balas yang berbeza dengan pelbagai 2 masukan parameter dan menjaga nilai tetap untuk 3 parameter. Dengan mengurangkan jumlah larian ujikaji, agak meyakinkan, secara logik dan hasil dapat diterima, serta dapat diikuti untuk mendapatkan solusi untuk keperluan perancangan dan menjimatkan masa atau kos.

BAB VII

KESIMPULAN DAN KAJIAN LANJUTAN

7.1 KESIMPULAN KAJIAN

Penggunaan kaedah Fabry – Perot Interferometer (FPI) boleh menghasilkan data – data yang ketara, serta penggunaan cahaya putih sebagai sumber cahaya. Untuk pengesanan menggunakan cahaya pantulan daripada FPI, ianya perlu memperhatikan intensiti sumber cahaya yang cukup. Penggunaan cahaya lampu Tungsten Halogen belum dapat memberikan intensiti pantulan yang cukup ketara, sehingga penggunaan sumber cahaya LED *Super Bright* boleh memberikan kesan yang baik.

Analisa perambatan medan elektrik dan medan magnetik daripada gelombang optik didapat dari hasil proses analisa perisian COMSOL. Analisa hanya memberikan maklumat corak perambatan gelombang dengan melakukan perubahan pembolehubah indeks bias. Simulasi perambatan kedua medan gelombang tersebut dilihat pada nilai keluaran medan elektrik E_x, E_y, E_z dan medan magnetik H_x, H_y, H_z . Penggunaan paksi perambatan gelombang di dalam perisian COMSOL masih menggunakan paksi kartesian, sehingga nilai yang didapatkan perlu ditukarkan kedalam bentuk silinder.

Di dalam pencirian bahan menggunakan data mikroskop kuasa atom, kaedah pengimbas purata transformasi fourier cepat (TFC) dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penggunaan bahan sebagai pelapis kuar. Lima teknik analisa di dalam kaedah TFC dapat menggunakan perisian ImageAnalysis (IA-Analysis), kerana ianya merupakan perisian yang mensokong mikroskop jenis NT-MDT.

Reka bentuk pengesanan wap kimia iaitu Aseton, Ethanol dan Methanol dalam kajian ini melibatkan proses pelapisan ZnO dan punaran gentian optik plastik dengan menggunakan cecair Aseton. Proses punaran dilakukan berulang – ulang sehingga mendapatkan saiz diameter kuar yang diharapkan. Penggunaan cecair Aseton untuk memunarkan bahan gentian optik plastik tidak dapat dilakukan berulang – ulang. Penggantian cecair yang baharu akan dilakukan apabila keadaan cecair Aseton dalam keadaan keruh dan putih.

Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan melakukan pemprosesan data menggunakan perisian DESIGN-EXPERT dengan melihat kaedah RSM (*Response Surface Methodology* / Kaedah Tindakbalas Permukaan). Kaedah tindak balas permukaan yang dimaksudkan iaitu melihat nilai optimum dari permukaan graf permukaan 3-dimensi sehingga pengesanan minimum merupakan keadaan yang terbaik.

Nilai tingkat hubungkait (r) antara ramalan dengan ujikaji pada kesahihan model terlihat bahawa uap aseton sebagai wap kimia pengesan yang lebih baik berbanding dengan wap ethanol dan methanol.

Jadual 7.1 Nilai hubungkait dan R kuasa dua antara Model Matematik dengan hasil ujikaji awal

λ (nm)	434.05		486.13		656.03	
Cecair	r	R^2	r	R^2	r	R^2
Aseton	0.9993	0.9986	0.9978	0.9955	0.9963	0.9926
Ethanol	0.9381	0.8801	0.9269	0.8592	0.9747	0.9500
Methanol	0.9293	0.8636	0.9860	0.9723	0.9804	0.9612

Pada jadual 7.1 menunjukkan R kuasa dua atau dikatakan sebagai pemalar penentu. Nilai ini mengira tingkat kepatutan terbaik antara nilai yang dihasilkan oleh model matematik dengan ujikaji kuar optik awal. Secara fizikal, bahawa pemilihan wap aseton dikeranakan nilai titik didih aseton ialah 56.53° sebagai nilai rendah berbanding dengan ethanol dan methanol. Begitupula dengan titik lebur aseton iaitu (-94.9°C), ianya mempunyai titik lebur yang tinggi berbanding ethanol dan methanol.

Kajian R. Kumar di dalam jurnal Nano-Micro Letters menjelaskan bahawa bahan ZnO mempunyai sifat yang sangat sensitif dan selektif dalam pengesanan wap dan gas kimia. Perkembangan terkini pengesanan wap dan gas kimia tetap menggunakan ZnO dengan jenis serbuk-nano sebagai bahan pengesan yang cekap.

7.2 SUMBANGAN PENYELIDIKAN

Antara hasil yang dibincangkan dalam reka bentuk pengesanan wap kimia Aseton, Ethanol dan Methanol ialah persamaan matematik sebagai landasan atau pelantar dalam reka bentuk kuar dengan pertimbangan lima pembolehubah iaitu; panjang kuar, diameter kuar, pendopan fotoinisiator, tekanan kebuk vakum dan ketulenan cecair pengesan.

Persamaan model matematik ini boleh digunapakai dengan nilai keketaraan yang telah didapatkan. Untuk pengesanan pada wap kimia bentuk persamaan polinomial yang diperoleh iaitu;

$$\begin{aligned} y(\lambda_n, \omega_m) = & a_{0,\lambda_n,\omega_m} + b_{1,\lambda_n,\omega_m}X_1 + b_{2,\lambda_n,\omega_m}X_2 + b_{3,\lambda_n,\omega_m}X_3 + b_{4,\lambda_n,\omega_m}X_4 \\ & + b_{5,\lambda_n,\omega_m}X_5 + c_{1,\lambda_n,\omega_m}X_1X_2 + c_{2,\lambda_n,\omega_m}X_1X_3 + c_{3,\lambda_n,\omega_m}X_1X_4 \\ & + c_{4,\lambda_n,\omega_m}X_1X_5 + d_{1,\lambda_n,\omega_m}X_2X_3 + d_{2,\lambda_n,\omega_m}X_2X_4 + d_{3,\lambda_n,\omega_m}X_2X_5 \\ & + e_{1,\lambda_n,\omega_m}X_3X_4 + e_{2,\lambda_n,\omega_m}X_3X_5 + f_{1,\lambda_n,\omega_m}X_4X_5 + g_{1,\lambda_n,\omega_m}(X_1)^2 \\ & + g_{2,\lambda_n,\omega_m}(X_2)^2 + g_{3,\lambda_n,\omega_m}(X_3)^2 + g_{4,\lambda_n,\omega_m}(X_4)^2 + g_{5,\lambda_n,\omega_m}(X_5)^2 \end{aligned}$$

dimana;

a, b, c, d, e, f dan g = pemalar persamaan berrgantug pada panjang kepada panjang gelombang dan cecair kimia pengesan.

λ_n = panjang gelombang yang digunakan pada pengesanan.

untuk $n = 434.05, 486.13$ dan 656.03 nm

ω_m = Wap kimia pengesan

- $m = 1$ untuk Aseton
 $m = 2$ untuk Ethanol
 $m = 3$ untuk Methanol

Jadual 7.2 Nilai pemalar daripada persamaan model matematik untuk cecairaseton

Pemalar	Cecair Aseton		
	λ_{434}	λ_{486}	λ_{656}
a_0	462.80908	1725.73	1180.4
b_1	111.85802	158.367	150.794
b_2	3439.89815	1449.14	1231.6
b_3	6687.63241	9356.86	9732.82
b_4	1.95036	-2.34541	-1.15765
b_5	-6.89487	-8.14692	-3.18591
c_1	-124.32593	-47.0259	-46.9593
c_2	-286.31111	-513.031	-518.818
c_3	0.075707	0.08044	0.0767067
c_4	0.65839	-0.314696	-0.307259
d_1	-3761.66667	-4475.19	-3606.48
d_2	4.57167	4.54611	3.30944
d_3	-6.96451	-9.06759	-9.95247
e_1	-17.36467	-0.521333	-4.518
e_2	-20.97704	-2.17852	-0.8
f_1	-0.020894	-0.00835778	-0.00591667
g_1	-2.10794	-4.42421	-3.60622
g_2	-1706.39146	-397.492	-239.712
g_3	-983.03704	-12690.6	-16369
g_4	-0.020017	-0.0034505	-0.00350433
g_5	0.11691	0.182593	0.136242

Jadual 7.2 merupakan nilai yang boleh digunakan dalam pengesanan cecair Aseton dengan memberikan nilai pemalar sebanyak 21 hasil pengiraan serta panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan iaitu 434.05 nm, 486.13 nm dan 656.03 nm. Penggunaan model harus mempertimbangkan keadaan persekitaran, penggunaan bekas uji yang khas untuk setiap cecair pengesan dan peletakkan kuar yang sesuai dengan tempatnya.

7.3 CADANGAN KAJIAN LANJUTAN

Penyelidikan ini dapat dikembangkan untuk peningkatan prestasi yang lebih baik, seperti:

- a) Penggunaan gentian optik plastik tanpa pelapis sebagai pengesan ekstrinsik dengan menggunakan 5 pemboleh ubah.
- b) Model dan optimasi pengesanan wap kimia berasaskan nilai penyerapan dengan konsentrasi cecair yang berbeza – beza serta menggunakan 5 pembolehubah.
- c) Membandingkan kaedah proses analisa pembeza (ANOVA) reka bentuk model dan optimasi seperti; proses ubahsuai, proses reka bentuk model, proses purata, proses lurus, proses interaksi 2-faktor, proses kuadratik, proses kubik, proses kuartik, proses turutan-5 dan proses turutan-6.
- d) Model dan optimasi pengesanan pengesanan wap kimia dengan bertekanan tinggi atau tanpa tekanan vakum.

RUJUKAN

- Anderson, M. J. & P. J. Whitcomb. 2007. *DOE Simplified practical tools for effective experimentation* Ed. ke-1. New York: Productivity Press.
- Aslan, N. & Y. Cebeci 2007. Application of Box - Behnken design and response surface methodology for modelling of some Turkish coals. *FUEL* 86(1-2): 90-97.
- Bang, K.-H., D.-K. Hwang & J.-M. Myoung 2003. Effects of ZnO buffer layer thickness on properties of ZnO thin films deposited by radio-frequency magnetron sputtering. *Applied Surface Science* 207(1-4): 359-364.
- Bang, K. H., D. K. Hwang, M. C. Jeong, K. S. Sohn & J. M. Myoung 2003. Comparative studies on structural and optical properties of ZnO films grown on c-plane sapphire and GaAs (001) by MOCVD. *Solid State Communications* 126(11): 623-627.
- Binnig, G., C. F. Quate & C. Gerber 1986. Atomic Force Microscope. *Physical Review Letters* 56(9): 930-933.
- Culshaw, B. & J. P. Dakin. 1988. *Optical Fiber Sensor* Ed. 1. Nordwood MA: Artech House.
- Culshaw, B. & J. P. Dakin. 1989. *Optical Fiber Sensor* Ed. 2. Nordwood MA: Artech House.
- Culshaw, B. & J. P. Dakin. 1996. *Optical Fiber Sensor* Ed. 3. Nordwood MA: Artech House.
- Culshaw, B. & J. P. Dakin. 1997. *Optical Fiber Sensor* Ed. 4. Nordwood, MA: Artech House.
- Ebothe, J., A. E. Hichou, P. Vautrot & M. Addou 2003. Flow rate and interface roughness of zinc oxide thin films deposited by spray pyrolysis technique. *Journal of Applied Physics* 93(1): 632-640.
- Einzinger, R. 1979. Grain junction properties of ZnO varistors. *Applications of Surface Science* 3(3): 390-408.
- Emtage, P. R. 1977. The physics of zinc oxide varistors. *Journal of Applied Physics* 48(10): 4372-4384.
- Fang, T.-H., W.-J. Chang & C.-M. Lin 2007. Nanoindentation characterization of ZnO thin films. *Materials Science and Engineering: A* 452-453(0): 715-720.

- Franz, L., S. Andrea, F. Karsten & B. Christian 1996. Experimental characterization of dynamic micromechanical transducers. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 6(1): 177.
- Fujita, M., N. Kawamoto, T. Tatsumi, K. Yamagishi & Y. Horikoshi 2003. Molecular beam epitaxial growth of ZnO on Si substrate using ozone as an oxygen source. *Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers* 42(1): 67-70.
- Goncalves, R. R., G. Carturan, L. Zampedri, M. Ferrari, M. Montagna, A. Chiasera, G. C. Righini, S. Pelli, S. J. L. Ribeiro & Y. Messaddeq 2002. Sol-gel Er-doped SiO₂-HfO₂ Planar Waveguides: A Viable System for 1.5 μ m Application. *Applied Physics Letters* 81: 28 – 30.
- Grattan, K. T. V. & B. T. Meggit. 1999. *Optical Fiber Sensor Technology* Ed. Dordrecht: Kluwer Academy.
- Green, M. A. 2008. Self-consistent optical parameters of intrinsic silicon at 300 K including temperature coefficients. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92: 1305–1310.
- Haran, F. M., J. S. Barton, S. R. Kidd & J. D. C. Jones 1994. Optical fibre interferometric sensors using buffer guided light. *Meas. Sci. Technol* 5(5): 526-530.
- Hecht, E. 2015. *Optics* Ed.: Pearson Education.
- Hossein-Babaei, F. & F. Taghibakhsh 2000. Electrophoretically deposited zinc oxide thick film gas sensor. *Electronics Letters* 36(21): 1815-1816.
- Jackson, D. A. 1994. Recent progress in monomode fibre-optic sensors. *Meas. Sci. Technol* 5: 621 - 638.
- Jasenek, J. 2013. The theory and application of fiber optic sensors with spread parameters. http://archive-org.com/page/2070514/2013-05-12/http://www.eaeie.org/theiere_bratislava/foreword.html [April, 13 2015].
- Jones, A., T. A. Jones, B. Mann & J. G. Firth 1984. The effect of the physical form of the oxide on the conductivity changes produced by CH₄, CO and H₂O on ZnO. *Sensors and Actuators* 5(1): 75-88.
- Kim, K. H., K. C. Park & D. Y. Ma 1997. Structural, electrical and optical properties of aluminum doped zinc oxide films prepared by radio frequency magnetron sputtering. *Journal of Applied Physics* 81(12): 7764-7772.
- Krohn, D. A. 2000. *Fiber optic sensors fundamentals and applications* Ed. ke-3. Instrument society of America.

- Kumar, R., Al-Dossary, O., Kumar, G. et.al. Zinc Oxide Nanostructures for NO₂ Gas-Sensor Applications: A Review. *Nano-Micro Lett* 7(2): 97-120
- Lee, C. E. & H. F. Taylor 1992. Optical Fiber Fabry-Perot Sensors. *LEOS '92, Conference Proceedings. IEEE Lasers and Electro-Optics Society, 1992 Annual Meeting*, hlm. 295-296.
- Ligler, F. S. & C. R. Taitt. 2002. *Optical Biosensors: Present and Future* Ed. ke-2. Elsevier Science, B.V.
- Llyas, M. & H. T. Moustah. 2003. *The Handbook of Optical Communication Networks* Ed. Washington, D.C.: CRC Press.
- Look, D. C. 2001. Recent advances in ZnO materials and devices. *Materials Science and Engineering: B* 80(1-3): 383-387.
- Lopez-Higuera, L. 2002. *Handbook of Optical Fiber Sensing Technology* Ed. Chichester, UK: John Willey and Sons Ltd.
- Lou, L. F. 1979. Current-voltage characteristics of ZnO-Bi₂O₃ heterojunction. *Journal of Applied Physics* 50(1): 555-558.
- Maddu, A., H. Zain, H. Ramza & S. Sardy 2008. Pengembangan sensor serat optik dengan cladding termodifikasi nanoserat polianilin untuk mendeteksi beberapa wap kimia. *Seminar Nasional Aplikasi Fotonika (SNAF-08)*, hlm. A6.1-A6.6.
- Manohar, M., J. Joseph, T. Selvaraj & D. Sivakumar 2013. Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4(4): 620-642.
- Marz, R. 1995. *Integrated Optics: Design and Modelling* Ed. Nordwood: Artech House.
- Mironov, V. L. 2004. *Fundamentals of scanning probe microscopy* Ed. ke-1. Nizhniy Novgorod: The Russian Academy of Sciences, Institute For Physics of Microstructures.
- Montgomery, D. C. 2009. *Design and analysis of experiments* Ed. ke-7. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd.
- Morisawa, M., Y. Amemiya, H. Kohzu, C. X. Liang & S. Muto 2001. Plastik optical fibre sensor for detecting vapour phase alcohol. *Measurement Science and Technology* 12(7): 877.
- Nagata, T., T. Shimura, A. Ashida, N. Fujimura & T. Ito 2002. Electro-optic property of ZnO:X (X=Li,Mg) thin films. *Journal of Crystal Growth* 237-239, Part 1(0): 533-537.

- Park, Y. R. & K. J. Kim 2002. Optical and electrical properties of Ti-doped ZnO films: observation of semiconductor–metal transition. *Solid State Communications* 123(3–4): 147-150.
- P érenn ès, F., P. C. Beard & T. N. Mills 1999. Analysis of a Low-Finesse Fabry-Perot Sensing Interferometer Illuminated by a Multimode Optical Fiber. *Appl. Opt.* 38(34): 7026-7034.
- Polyanskiy, M. 2008. Refractive Index Database. <http://refractiveindex.info/?group=GASES&material=Ammonia> [July, 30 2011].
- Qiu, P., M. Cui, K. Kang, B. Park, Y. Son, E. Khim, M. Jang & J. Kim 2014. Application of Box - Behnken design with response surface methodology for modelling and optimizing ultrasonic oxidation of arsenite with H₂O₂. *Central European Journal of Chemistry* 12(2): 164-172.
- Sarid, D. 2007. *Exploring Scanning Probe Microscopy with MATHEMATICA* Ed. ke-2. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GMBH & Co.
- Seiyama, T., A. Kato, K. Fujiishi & M. Nagatani 1962. A New Detector for Gaseous Components Using Semiconductive Thin Films. *Analytical Chemistry* 34(11): 1502-1503.
- Sharma, P., S. Kumar & K. Sreenivas 2003. Interaction of surface acoustic waves and ultraviolet light in ZnO films. *Journal of Materials Research* 18(03): 545-548.
- Shu, G., C. Dai, H. Chen & X. Wang 2013. Application of Box - Behnken design in optimization for crude polysaccharides from fruits of *Tribulus terrestris* L. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research Research* 5(10): 342-350.
- Snyder, A. W. & J. Love. 2007. *Optical Waveguide Theory* Ed. New York: Springer Verlag NY.
- Sumiya, M., S. Fuke, A. Tsukazaki, K. Tamura, A. Ohtomo, M. Kawasaki & H. Koinuma 2003. Quantitative control and detection of heterovalent impurities in ZnO thin films grown by pulsed laser deposition. *Journal of Applied Physics* 93(5): 2562-2569.
- Team-Editor. 2010. *Image Analysis P9 (Reference Manual)* Ed. 1. Zelenograd, Moscow: NT-MDT Company.
- Tekindal, M. A., H. Bayrak, B. Ozkaya & Y. Genc 2012. Box - Behnken experimental design in factorial experiments: the importance of bread for nutrition and health. *Turkish Journal of Field Crops* 17(2): 115-123.
- Van de Walle, C. G. 2001. Defect analysis and engineering in ZnO. *Physica B: Condensed Matter* 308–310(0): 899-903.

- Wagner, R. E. & C. R. Sandahl 1982. Interference effects in optical fiber connections. *Appl. Opt.* 21(8): 1381-1385.
- Wang, W., C. E. Reimers, S. C. Wainright, S. M. R & M. J. Morris 1999. Applying Fiber-Optic Sensors for Monitoring Dissolved Oxygen. *Sea Technology* 40(3): 69-74.
- Water, W. & S. Y. Chu 2002. Physical and structural properties of ZnO sputtered films. *Materials Letters* 55(1-2): 67-72.
- Xiaopei, C. 2003. Fiber Optic Pressure Sensor Fabrication Using MEMS Technology. Thesis M. Sc Virginia Technology University, Blacksburg, Virginia.
- Yu, F. T. S. & S. Yin. 2002. *Fiber Optic Sensors* Ed. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Zhu, Y., Z. Huang, F. Shen & A. Wang 2005. Sapphire-fiber-based white-light interferometric sensor for high-temperature measurements. *Opt. Lett.* 30(7): 711-713.

LAMPIRAN A

NILAI NORMALISASI MEDAN OPTIK

A. 1. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_x) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ETHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_x) kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.140288486	0.436854285	1
1	0.540257985	0.495184286	0.243169
2	0.559987577	0.826140484	0.593632
3	0.882558011	0.564257466	0.564844
4	0.260441078	0.727214562	0.533947
5	0.602017676	0.980961839	0.291703
6	0.664091642	0.456767999	0.375835
7	0.300284058	0.311849683	0.680662
8	0.254764993	0.770466782	0.306349
9	0.574679559	0.524417834	0.699929
10	0.063971772	0.524122754	0.670649
11	0.336752433	0.829691961	0.340058
12	0.913427314	0.513658418	0.4295
13	0.6125083	0.761335319	0.721418
14	0.456850273	0.840688662	0.352888
15	0.198376377	0.441768229	0.889133
16	0.538618921	0.643054773	0.337917
17	0.700398647	0.643385225	0.392296
18	0.743864493	0.626555866	0.86585
19	0.249897276	0.716882615	0.343532
20	0.867354611	0.725798928	0.611459
21	1	0.6008514	0.594973
22	0.521273844	0.551387082	0.503771
23	0.195354693	0.50691376	0.394776
24	0.109515431	0.458642771	0.703768
25	0.309835223	1	0.163863
26	0.740767818	0.514755756	0.56806
27	0.958653559	0.430296226	0.348825
28	0.301724813	0.502966229	0.633278
29	0.834258616	0.508415744	0.450791
30	0.689205976	0.393813801	0.645615
31	0.521833853	0.975239436	0.391119
32	0.261496427	0.585288282	0.278914
33	0.442064749	0.336107752	0.628347
34	0.341131313	0.480817188	0.409401

A. 2. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_y) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ETHANOL

Kedudukan cahayapada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_y)kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.257767068	0.463467612	0.628182155
1	0.173711785	0.355922011	0.182793308
2	0.441670288	0.540225643	0.154500361
3	0.168323632	0.328984614	0.615896221
4	0.140077908	0.313867276	0.157758707
5	0.31342947	0.212546286	0.445401349
6	0.322891467	0.558944642	0.124035333
7	0.259389711	0.239762913	0.033476644
8	0.632178376	0.765884228	1
9	0.117048537	0.045372343	0.212325315
10	0.153440102	0.415419816	0.734154481
11	0.180992109	0.320318725	0.407249656
12	0.081178104	0.169586025	0.409903343
13	0.487357485	0.777564433	0.704871664
14	0.307423574	0.342997697	0.082080685
15	0.413154907	0.450731094	0.336440364
16	0.089539638	0.355413243	0.335530183
17	0.195364751	0.376873225	0.537248679
18	0.314558243	0.033419374	0.641718112
19	0.23923175	0.601477679	0.446558038
20	0.18121255	0.368010121	0.214402978
21	0.580869154	0.668873579	0.3520803
22	0.09852487	0.275104434	0.305089062
23	0.252090931	0.258437069	0.225523902
24	0.326039726	0.227377481	0.266962088
25	0.128335038	0.374884688	0.105025951
26	1	0.647650805	0.486420624
27	0.276026446	0.473833553	0.395343367
28	0.290604649	1	0.692968153
29	0.406791636	0.115729496	0.596512029
30	0.068802147	0.457657057	0.341844175
31	0.099749206	0.400853178	0.930344922
32	0.310959458	0.468919063	0.349836904
33	0.50743169	0.380744538	0.288387936
34	0.368421497	0.853115969	0.402669167

A. 3. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_r) BERASAKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ETHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_r) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik(Untuk X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO(Untuk X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik(X = 0.3 mm)
0	0.293031533	0.623855387	1.059844399
1	0.431621369	0.562986487	0.28328153
2	0.669992592	0.893669666	0.443312874
3	0.606854301	0.576351022	0.820793181
4	0.256008211	0.649092572	0.414731638
5	0.582951364	0.696177208	0.532231481
6	0.62361143	0.715558239	0.302976364
7	0.378461438	0.367836603	0.386052052
8	0.67175646	1.056436731	1.011835486
9	0.401488821	0.314095706	0.5483564
10	0.164168502	0.628815393	0.977001368
11	0.330910281	0.708415763	0.525170124
12	0.548918188	0.414137408	0.574413862
13	0.73645828	1.061578501	0.978754702
14	0.501581297	0.733490189	0.255222811
15	0.45576644	0.615599241	0.753359624
16	0.359137956	0.640233193	0.463019243
17	0.534171366	0.658667161	0.663228374
18	0.658427092	0.357580237	1.000890208
19	0.334839673	0.888393678	0.560442694
20	0.609834846	0.694419246	0.503649153
21	1.019585599	0.884787339	0.612138873
22	0.357671771	0.523743091	0.524243379
23	0.317129177	0.486197957	0.399283672
24	0.334959216	0.434411432	0.596863802
25	0.271963992	0.844312691	0.175447604
26	1.240045148	0.821500871	0.712311183
27	0.73847367	0.629230709	0.519644546
28	0.405779199	1.115122744	0.922324016
29	0.784394832	0.365556606	0.744384759
30	0.420599043	0.596301052	0.630032411
31	0.359007748	0.853402102	0.997097291
32	0.401966321	0.706469688	0.444197263
33	0.664001746	0.500541662	0.575474967
34	0.49269493	0.978503226	0.55770001

A. 4. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_ϕ) BERASAKAN KEDUDUKAN CAHAYASEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ETHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_ϕ) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.016039	-0.12825	-0.520905625
1	-0.36845	-0.23438	-0.110888075
2	-0.24448	-0.41917	-0.423961172
3	-0.66255	-0.30731	-0.157083829
4	-0.14802	-0.45391	-0.371463425
5	-0.34761	-0.72305	-0.014231831
6	-0.39546	-0.09504	-0.254640633
7	-0.11925	-0.1394	-0.561591585
8	0.115317	-0.25326	0.26464839
9	-0.42751	-0.42239	-0.484032811
10	0.026172	-0.22775	-0.184990213
11	-0.19146	-0.53772	-0.075419371
12	-0.73459	-0.34799	-0.150131612
13	-0.26517	-0.23935	-0.243572828
14	-0.22724	-0.53516	-0.257155245
15	0.04824	-0.13912	-0.579827233
16	-0.41128	-0.36047	-0.111273703
17	-0.49334	-0.34948	-0.051577286
18	-0.46771	-0.51558	-0.399646118
19	-0.08696	-0.29403	-0.057725788
20	-0.64284	-0.42426	-0.407662092
21	-0.54576	-0.15989	-0.32130927
22	-0.3918	-0.32466	-0.268390588
23	-0.0338	-0.29557	-0.217443748
24	0.078089	-0.27081	-0.458597641
25	-0.19622	-0.65397	-0.084258864
26	-0.105	-0.09778	-0.227836403
27	-0.67072	-0.11723	-0.08913392
28	-0.10408	0.097346	-0.174827258
29	-0.49618	-0.37182	-0.070219003
30	-0.5503	-0.09468	-0.369778208
31	-0.39163	-0.61926	0.155925936
32	-0.05915	-0.25169	-0.053552131
33	-0.10959	-0.08598	-0.383166413
34	-0.09673	0.039032	-0.136829866

A. 5. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_x) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ASETON

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_x) kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.198445	0.733756	0.189674132
1	0.17643	0.285645	0.388448794
2	0.404981	0.686197	0.161788411
3	0.534948	0.385281	0.360104607
4	0.301872	0.175162	0.415748878
5	0.158361	0.683345	0.439594459
6	0.356096	0.452454	0.399511163
7	0.312395	0.319937	0.500029679
8	0.051556	0.497566	0.607903082
9	0.19046	0.368911	0.265167994
10	0.747083	0.099104	0.523796891
11	0.065921	0.427685	0.218103698
12	0.159098	0.513756	0.49440728
13	0.05998	0.417536	0.381431285
14	0.138011	0.260378	0.486895299
15	0.568606	0.487128	0.319207322
16	0.182506	0.320854	0.349051537
17	0.242782	0.21648	0.321321526
18	0.472886	0.456447	0.265343558
19	0.034978	0.295676	0.520222759
20	0.310825	0.134518	0.330229978
21	1	0.57772	0.33808066
22	0.283945	0.379799	0.188406263
23	0.717266	1	1
24	0.43738	0.569065	0.360274933
25	0.20342	0.27709	0.633776455
26	0.474972	0.145758	0.243356464
27	0.268813	0.542862	0.448687096
28	0.235455	0.418678	0.358460354
29	0.284971	0.36882	0.515893739
30	0.297813	0.553993	0.426145873
31	0.215405	0.179814	0.490049321
32	0.717815	0.167122	0.376291307
33	0.082961	0.483341	0.243279783
34	0.00451	0.274932	0.329675803

A. 6. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_y) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP ASETON

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai Intensiti normalisasi (E_y) kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.153077	0.169534148	0.064631875
1	0.017671	0.169734111	0.140056147
2	0.099579	0.180037934	0.039270765
3	0.214919	0.138370086	0.147418977
4	0.079558	0.215497836	0.118124876
5	0.118676	0.17645298	0.062458373
6	0.234105	0.156538479	0.246758955
7	0.190688	0.277688109	0.433569507
8	0.174458	0.20157032	0.262326413
9	0.269017	0.212241722	0.268824105
10	0.837198	0.144731846	0.628255169
11	0.069063	0.441343485	0.185597669
12	0.137446	0.253504113	0.494223778
13	0.284294	0.26815313	0.185908089
14	0.473246	0.128024294	0.170251619
15	0.187567	0.048651559	0.137786497
16	0.095016	0.594186671	0.215230959
17	0.301843	0.673874729	0.995001744
18	0.397615	0.542707775	0.301271569
19	0.123409	0.337214844	0.238510048
20	0.124203	0.387032977	0.398468813
21	0.372807	0.154723075	0.324875471
22	0.387667	0.419290803	0.160582971
23	0.194247	0.162655915	1
24	1	1	0.57106693
25	0.121873	0.415445525	0.505165147
26	0.482441	0.070640772	0.525357301
27	0.050653	0.232615516	0.28192467
28	0.242912	0.211985925	0.175664566
29	0.051117	0.133970417	0.131174958
30	0.040454	0.080145331	0.253359968
31	0.063329	0.549149796	0.063494132
32	0.020305	0.073084819	0.197003492
33	0.069479	0.241295756	0.2248795
34	0.053193	0.21597364	0.40089444

A. 7. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_r) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_r) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik	Di dalam salutan ZnO	Di dalam teras gentian optik
	(Untuk X = - 0.5 mm)	(Untuk X = - 0.05 mm)	(Untuk X = 0.3 mm)
0	0.234502	0.529715476	0.154635482
1	0.107719	0.29448318	0.323234962
2	0.297477	0.513669249	0.118406643
3	0.463895	0.320136317	0.314610196
4	0.226277	0.275384104	0.318914901
5	0.184172	0.509120774	0.284074685
6	0.386265	0.370883035	0.419840063
7	0.326365	0.404355917	0.631602407
8	0.175531	0.432899059	0.542559325
9	0.328961	0.374394356	0.368041956
10	1.104834	0.175214176	0.809746562
11	0.093396	0.600213192	0.272500379
12	0.200531	0.48559492	0.68025977
13	0.273416	0.447513241	0.358564089
14	0.475187	0.245718491	0.400644509
15	0.458303	0.297296934	0.284929641
16	0.176724	0.674147098	0.366505229
17	0.384378	0.687124245	1.015447754
18	0.586749	0.701573435	0.395743845
19	0.123383	0.442262602	0.476233495
20	0.268968	0.399992877	0.512535587
21	0.842545	0.435143447	0.454038888
22	0.47903	0.556292699	0.235614569
23	0.542081	0.66372648	1.376225513
24	1.080669	1.149846012	0.675183207
25	0.210563	0.499065446	0.762783511
26	0.660024	0.136678551	0.57486888
27	0.184314	0.483110582	0.475595893
28	0.330384	0.400320328	0.337780704
29	0.193197	0.307744952	0.382627559
30	0.19087	0.359220844	0.439448687
31	0.167044	0.56173373	0.311461064
32	0.394362	0.149980979	0.365305064
33	0.102701	0.459229126	0.319150978
34	0.047631	0.328200536	0.514308441

A. 8. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_ϕ) BERASAKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIKUNTUK WAP ASETON

Kedudukan cahayapada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_ϕ) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	-0.08844	-0.53529573	-0.127441842
1	-0.14084	-0.153891644	-0.256957874
2	-0.29229	-0.489309503	-0.117036533
3	-0.34229	-0.255148342	-0.228971849
4	-0.21507	-0.035839864	-0.291708591
5	-0.07241	-0.488766293	-0.341241717
6	-0.18002	-0.302761366	-0.210317552
7	-0.16565	-0.126360151	-0.197713421
8	0.047778	-0.317491023	-0.379461042
9	-0.02074	-0.202412534	-0.084413167
10	-0.1959	-0.008296842	-0.115664366
11	-0.01981	-0.132071448	-0.088086669
12	-0.06317	-0.303985592	-0.161066279
13	0.098309	-0.214416047	-0.226899618
14	0.131172	-0.154302385	-0.324864008
15	-0.3853	-0.388941362	-0.199232358
16	-0.10538	0.03912368	-0.183943628
17	-0.04802	0.169797361	0.249282676
18	-0.1935	-0.10329576	-0.067517189
19	0.035066	-0.0744457	-0.317364807
20	-0.19924	0.088855272	-0.071669423
21	-0.65506	-0.41030458	-0.117009797
22	-0.03796	-0.102909486	-0.075957787
23	-0.50828	-0.765456796	-0.325581536
24	0.153153	0.041102364	-0.006565195
25	-0.10907	-0.017534051	-0.273908259
26	-0.15072	-0.086917147	0.068908869
27	-0.20212	-0.339724941	-0.233688203
28	-0.07274	-0.244893713	-0.212734719
29	-0.21563	-0.243452302	-0.370066711
30	-0.23216	-0.429292808	-0.229513463
31	-0.15002	0.135476121	-0.383629831
32	-0.60012	-0.103811617	-0.216697333
33	-0.03409	-0.284518692	-0.088873479
34	0.024106	-0.120484872	-0.069923638

A. 9. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_x) BERASAKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP METHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_x) kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.434637787	1	0.447999582
1	0.439899204	0.577470809	0.637817266
2	0.354790511	0.532329672	0.853615596
3	0.921807035	0.444890505	0.37955973
4	0.346175562	0.460693531	0.38638266
5	0.281782587	0.492619122	0.190106431
6	0.150992194	0.381378889	0.740397731
7	0.34891778	0.347056099	0.478572829
8	0.019621109	0.519778807	0.442276329
9	0.118284211	0.757961115	0.207743298
10	0.428779799	0.389950424	0.773270065
11	1	0.55782671	1
12	0.261190545	0.610915425	0.556891976
13	0.284869389	0.508313404	0.515874109
14	0.696455324	0.299813101	0.679417444
15	0.332562744	0.385476342	0.53508435
16	0.249898398	0.548414917	0.401700194
17	0.197978154	0.330133174	0.466434625
18	0.322044528	0.510622119	0.705430683
19	0.267030341	0.386220294	0.356695591
20	0.28468472	0.400367735	0.116635256
21	0.087513102	0.530394836	0.42775094
22	0.084955747	0.261278034	0.644152719
23	0.343674053	0.659813404	0.648196498
24	0.551975721	0.239731552	0.108303831
25	0.435802548	0.140622956	0.550728298
26	0.793982469	0.591650525	0.412100675
27	0.862133718	0.198425852	0.231151614
28	0.259411258	0.164977676	0.440836931
29	0.350800135	0.313157843	0.04087831
30	0.14670337	0.136469052	0.437847993
31	0.087564053	0.322043146	0.686016485
32	0.184351552	0.242197975	0.11402075
33	0.242202591	0.14901555	0.548642068
34	0.30700991	0.316957094	0.375103698

A. 10. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_y) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP METHANOL

Kedudukan cahayapada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_y) kedudukan pemanduan cahaya		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	0.500814671	0.718097999	1
1	0.353003731	0.479957425	0.215092792
2	0.261914241	0.285791534	0.4819478
3	0.113672541	0.331622997	0.253333181
4	0.046082126	0.330770849	0.182634245
5	0.110101268	0.747631729	0.423621883
6	0.033367094	0.531011588	0.064375545
7	0.12041721	0.346009982	0.085339277
8	0.165233671	0.140036883	0.252541829
9	0.633471043	0.434225101	0.165408629
10	1	1	0.123363267
11	0.957315948	0.714248033	0.630708219
12	0.146950482	0.469274831	0.074037009
13	0.211473171	0.878513374	0.201419417
14	0.255834947	0.949204393	0.772779388
15	0.069593588	0.194245719	0.226666699
16	0.180220514	0.582851587	0.125212644
17	0.301763195	0.410939985	0.194874095
18	0.090559273	0.205359992	0.342171385
19	0.235657925	0.497327962	0.185364644
20	0.243929805	0.305103965	0.102253392
21	0.139914091	0.212612761	0.049102255
22	0.006946564	0.690763515	0.401666505
23	0.228227469	0.37949161	0.111684877
24	0.163765875	0.523234898	0.123450377
25	0.432592701	0.278206434	0.062901184
26	0.444308252	0.402590662	0.277779692
27	0.695687777	0.428837164	0.328725059
28	0.472674955	0.349718341	0.187871744
29	0.05702884	0.224223313	0.401122869
30	0.033461385	0.226515777	0.401810316
31	0.074348639	0.273315416	0.360115478
32	0.297067071	0.323694155	0.356122318
33	0.105823591	0.135705685	0.234145752
34	0.130714564	0.085846143	0.121177531

A. 11. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_r) BERASASKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP METHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_r) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik (Untuk $X = - 0.5$ mm)	Di dalam salutan ZnO (Untuk $X = - 0.05$ mm)	Di dalam teras gentian optik (Untuk $X = 0.3$ mm)
0	0.654469756	1.136354107	1.08624756
1	0.531460844	0.711755579	0.51808265
2	0.409243008	0.522825506	0.85851412
3	0.58096987	0.515889942	0.41495317
4	0.221065078	0.523466523	0.35837943
5	0.241712146	0.89494613	0.46032844
6	0.107711698	0.652186348	0.44372459
7	0.28575761	0.476737313	0.32402032
8	0.150905313	0.392209114	0.44722621
9	0.60116004	0.767657309	0.24987891
10	1.076150981	1.055753057	0.51118601
11	1.339905503	0.900794806	1.06199384
12	0.26224982	0.720234913	0.35554595
13	0.32959142	1.014558335	0.44238850
14	0.583554154	0.965179778	1.01447363
15	0.233919952	0.367783565	0.47396332
16	0.284627394	0.784044885	0.31756582
17	0.360773644	0.523096497	0.41084742
18	0.246234276	0.442982568	0.66173309
19	0.340799068	0.626068128	0.34510747
20	0.357111874	0.469936014	0.14827884
21	0.16502595	0.459541018	0.26648826
22	0.050539978	0.725028206	0.68016703
23	0.374739095	0.669525238	0.43554493
24	0.429313944	0.571158675	0.16193874
25	0.597031316	0.310599166	0.34283252
26	0.795159907	0.653372844	0.45284927
27	1.044860981	0.469136517	0.40114234
28	0.538475223	0.38424297	0.39144206
29	0.232809065	0.355301108	0.36279114
30	0.105538917	0.264433267	0.57191299
31	0.109262841	0.401741396	0.66680307
32	0.349619342	0.402664419	0.36292334
33	0.217280014	0.193753591	0.48744919
34	0.27250454	0.239551317	0.30016061

A. 12. NILAI NORMALISASI MEDAN ELEKTRIK (E_ϕ) BERASAKAN KEDUDUKAN CAHAYA SEPANJANG KUAR OPTIK UNTUK WAP METHANOL

Kedudukan cahaya pada panjang kuar (mm)	Nilai normalisasi (E_ϕ) kedudukan pemanduan cahaya (V/m)		
	Diluar gentian optik (X = - 0.5 mm)	Di dalam salutan ZnO (X = - 0.05 mm)	Di dalam teras gentian optik (X = 0.3 mm)
0	-0.106745866	-0.473670855	0.28997796
1	-0.188871161	-0.239239757	-0.22206646
2	-0.164303187	-0.302828617	-0.19524527
3	-0.72465417	-0.204350046	-0.06630958
4	-0.270354052	-0.218244549	-0.10703352
5	-0.181931179	-0.02642396	0.12267080
6	-0.110951322	-0.045564577	-0.35512932
7	-0.23363756	-0.113544606	-0.20657423
8	0.07010521	-0.368717165	-0.09967170
9	0.232127816	-0.416843791	-0.02223933
10	0.160471747	0.193511798	-0.34141033
11	-0.348004407	-0.099446516	-0.19399709
12	-0.145051636	-0.273309701	-0.25365433
13	-0.131304861	0.028976726	-0.16518996
14	-0.458220566	0.243525915	0.04904508
15	-0.246419769	-0.22596163	-0.16201842
16	-0.117965629	-0.160463431	-0.14524499
17	-0.009937467	-0.065035672	-0.14265672
18	-0.226456046	-0.326610041	-0.19082810
19	-0.103420769	-0.067378896	-0.09000391
20	-0.114097542	-0.180396495	-0.00755511
21	-0.000965258	-0.339624677	-0.19891248
22	-0.068639962	0.140550863	-0.12738334
23	-0.172540555	-0.362082264	-0.28184135
24	-0.383648271	0.070878375	0.00795681
25	-0.143575466	0.026491388	-0.25626631
26	-0.442197586	-0.29194779	-0.07056177
27	-0.368132533	0.056436335	0.05125748
28	0.027572593	0.043334648	-0.13288817
29	-0.268538568	-0.148677676	0.18924439
30	-0.107252413	0.002871721	-0.01893138
31	-0.035451587	-0.13044905	-0.17120297
32	-0.000809521	-0.036043453	0.12718128
33	-0.150499578	-0.055508676	-0.16521183
34	-0.19256858	-0.224603041	-0.13339300

LAMPIRAN B

HASIL UJIKAJI REKA BENTUK BOX – BEHNKEN DAN HASIL RAMALAN PENGESAN

B. 1. CECAIR ASETON

Larian	Tindakbalas									
	Ujikaji-1 (397.14 nm)	Ramalan (397.14 nm)	Ujikaji-2 (410.05 nm)	Ramalan (410.05 nm)	Ujikaji-3 (434.05 nm)	Ramalan (434.05 nm)	Ujikaji-4 (486.13 nm)	Ramalan (486.13 nm)	Ujikaji-5 (656.03 nm)	Ramalan (656.03 nm)
1	1525.74	1620.56901	1526.67	1622.478757	2055.6	2021.016747	2723.24	2697.79206	2278.09	2253.687582
2	1769.07	1707.608385	1774.66	1705.944182	2645.23	2637.41581	3469.63	3469.380954	2902.9	2896.920532
3	1574.89	1543.293398	1571.72	1545.888769	2167.5	2162.470261	2973.84	2936.170366	2515.65	2445.227375
4	1444.75	1649.333385	1412.91	1652.534582	2162.1	2270.504881	3093.36	3205.647915	2534.08	2671.038725
5	1629.25	1602.822772	1632.6	1601.75377	2303.41	2232.116291	3162.44	3008.682619	2626.8	2520.02051
6	1522.76	1572.057772	1524.99	1575.944595	2374.34	2317.561694	3307.28	3284.096727	2703.32	2712.331011
7	1768.51	1498.03716	1773.35	1497.563357	2599.62	2463.223084	3541.68	3417.753567	2946.47	2848.930301
8	1507.68	1567.51816	1492.04	1554.905157	2195.05	2136.317976	3116.82	3016.158951	2602.22	2526.264732
9	1635.95	1662.352147	1625.16	1657.61877	2315.14	2281.693987	3115.15	3060.421539	2583.42	2575.806146
10	1617.71	1602.822772	1605.61	1601.75377	2303.41	2232.116291	3076.05	3008.682619	2548.79	2520.02051
11	1580.85	1631.587147	1609.14	1631.809596	2336.92	2341.801036	3195.02	3230.125647	2684.51	2688.469581
12	1473.98	1560.851772	1493.53	1572.012395	2141.06	2095.982229	2843.33	2824.648879	2354.79	2345.163908
13	1595.55	1701.068147	1591.83	1689.151396	2148.32	2155.461804	2955.03	2914.501498	2482.32	2438.414023
14	1636.33	1633.587772	1640.98	1627.562945	2502.8	2467.5022	3557.51	3435.075017	2963.41	2839.586575

15	1662.58	1638.127385	1693.48	1648.602382	2223.16	2140.153668	3015.91	2863.628069	2530.17	2403.384101
16	1469.32	1504.577398	1497.07	1514.356144	2106.99	2015.82155	2765.32	2737.070347	2300.24	2264.219955
17	1566.7	1672.303772	1550.87	1659.09557	2382.9	2456.983558	3214.57	3383.225504	2707.23	2821.023441
18	1678.4	1620.381147	1681.2	1627.877396	2299.87	2212.099134	3022.8	2963.090328	2550.09	2485.049928
19	1514.19	1486.83116	1512.15	1493.631157	2157.81	2139.055371	3115.71	2987.767721	2611.9	2495.730677
20	1592.2	1515.783398	1581.78	1518.288344	2360.19	2340.638574	3283.45	3242.040719	2733.48	2681.65455
21	1479.56	1602.822772	1489.99	1601.75377	2025.81	2232.116291	2828.99	3008.682619	2334.13	2520.02051
22	1488.31	1528.80216	1457.22	1523.372532	2166.38	2265.342691	3040.3	3142.716463	2580.44	2660.119374
23	1798.12	1676.843385	1801.47	1680.135008	2236.2	2289.594911	2944.79	3043.365559	2522.17	2580.85404
24	1685.29	1641.538772	1647.31	1633.286395	2181.09	2251.869984	3000.27	3082.690109	2524.03	2619.412938
25	1833.68	1736.372759	1811.89	1736.000008	2294.28	2302.844277	3027.64	3041.291975	2555.12	2546.102592
26	1623.67	1585.264398	1614.54	1575.630144	2120.02	2123.76434	2894.71	2885.641637	2438.2	2423.31397
27	1756.23	1659.097147	1734.44	1659.410021	2250.9	2174.892785	3033.23	2911.405287	2543.02	2430.447388
28	1849.69	1556.31216	1818.04	1550.972957	2638.34	2385.720763	3698.82	3462.354606	3092.81	2852.332108
29	1770.38	1575.312772	1747.29	1574.153345	2541.16	2464.392916	3385.48	3342.067973	2892.48	2829.484786
30	1353.33	1469.272785	1357.8	1467.507532	2034.19	2159.368331	2853.94	3016.391706	2317.93	2494.789155
31	1417.57	1591.616772	1426.5	1597.82157	2280.51	2525.353828	3140.84	3457.038274	2587.14	2867.286386
32	1831.81	1602.822772	1848.57	1601.75377	2359.63	2232.116291	3131.16	3008.682619	2648.4	2520.02051
33	1289.66	1533.341772	1315.17	1544.41197	2113.13	2286.626524	3063.02	3179.067235	2535.76	2650.15258
34	1354.27	1525.54716	1365.25	1525.163783	2024.88	2099.05649	2832.9	2955.445209	2363.36	2444.665619
35	1497.25	1644.793772	1522.94	1631.495145	2103.45	2126.87116	2815.77	2871.45136	2349.95	2414.006721
36	1535.6	1602.822772	1549.94	1601.75377	2095.07	2232.116291	2820.8	3008.682619	2360.75	2520.02051
37	1770.75	1564.106772	1778.57	1570.221145	2323.89	2231.453455	3074.93	3029.51013	2616.75	2575.797641
38	1673.75	1689.862147	1679.89	1685.219196	2590.87	2599.330402	3497.19	3523.647678	2872.37	2914.261369
39	1329.69	1585.076534	1325.59	1581.028783	1937.19	2105.515849	2726.22	2927.771633	2246.06	2438.304171
40	1732.77	1630.332772	1725.13	1629.354195	2619.17	2603.861018	3601.63	3499.423761	2983.33	2931.512835

41	1476.03	1574.058398	1483.85	1571.697944	2388.49	2372.517816	3306.91	3256.852766	2699.04	2685.146375
42	1542.49	1546.548398	1517.54	1544.097519	2028.61	2066.141463	2751.35	2780.776618	2290.56	2325.096133
43	1582.89	1680.098385	1559.81	1678.343757	2055.6	2133.781113	2771.27	2849.716809	2333.57	2390.6278
44	1844.85	1602.822772	1841.87	1601.75377	2305.27	2232.116291	3032.67	3008.682619	2601.29	2520.02051
45	1759.21	1718.814385	1760.32	1709.876382	2317.18	2194.196523	3060.22	2935.219299	2571.88	2485.308156
46	1686.6	1614.028772	1708.01	1605.68597	2403.57	2406.302254	3384.36	3352.862465	2860.83	2808.873635

B. 2. CECAIR ETHANOL

Larian	Tindakbalas									
	Ujikaji-1 (397.14 nm)	Ramalan (397.14 nm)	Ujikaji-2 (410.05 nm)	Ramalan (410.05 nm)	Ujikaji-3 (434.05 nm)	Ramalan (434.05 nm)	Ujikaji-4 (486.13 nm)	Ramalan (486.13 nm)	Ujikaji-5 (656.03 nm)	Ramalan (656.03 nm)
1	1816.92	1671.288225	1807.61	1669.894743	2297.63	2156.848711	3019.08	2885.317475	2557.91	2419.239113
2	1581.96	1716.041501	1591.27	1705.919569	2458.68	2538.84696	3263.53	3368.469845	2709.28	2817.426279
3	1726.81	1647.691988	1715.27	1649.102856	2317.37	2312.072195	3129.11	3076.660523	2650.26	2580.42617
4	1433.58	1670.148701	1447.91	1665.846169	2145.9	2303.342471	3101.56	3265.190174	2575.23	2737.679804
5	1497.25	1639.511989	1509.91	1632.485981	2188.16	2130.050972	3038.25	2907.247179	2532.41	2417.268843
6	1675.42	1646.552464	1687.71	1645.054281	2531.85	2458.941224	3450.64	3385.643205	2850.21	2838.309347
7	1771.31	1562.982476	1766.28	1559.052394	2568.71	2426.734047	3499.05	3353.086588	2946.28	2826.925657
8	1584.76	1550.554376	1563.9	1541.097094	2252.95	2143.074071	3153.13	2996.321952	2677.44	2523.108911
9	1641.91	1631.331989	1624.6	1615.869107	2283.86	2259.014749	3063.58	3039.755501	2565.92	2565.229848
10	1585.87	1639.511989	1584.2	1632.485981	2254.07	2130.050972	3014.61	2907.247179	2508.58	2417.268843
11	1596.67	1638.372464	1602.63	1628.437407	2328.54	2343.087507	3167.09	3216.231526	2709.09	2701.610387
12	1804.26	1704.873364	1805.01	1703.082981	2368.57	2270.794635	3051.1	3022.102068	2605.76	2553.925028
13	1485.15	1625.944364	1479.38	1610.482107	2044.43	2093.222737	2866.6	2872.499358	2369.87	2386.066171
14	1679.52	1632.471514	1683.99	1619.917682	2530.92	2501.122753	3513.94	3427.791667	2988.73	2858.480815
15	1620.87	1728.469601	1618.45	1723.874869	2148.32	2215.17621	2934.37	2964.576532	2481.21	2511.335399
16	1578.8	1653.079613	1586.06	1654.489856	2182.95	2148.450937	2890.99	2904.424166	2390.35	2419.159827
17	1596.48	1627.083889	1579.54	1614.530681	2376.02	2392.344684	3252.92	3321.041267	2717.84	2758.91216
18	1880.04	1696.693364	1860.49	1686.466107	2425.35	2298.205872	3231.14	3076.290402	2772.2	2644.318531
19	1526.67	1621.303376	1541.93	1617.081094	2152.23	2191.112161	3104.91	3069.137995	2619.91	2591.926376
20	1597.04	1594.758713	1588.11	1596.461156	2354.23	2427.357448	3311.19	3349.045278	2812.05	2823.211657

21	1513.45	1639.511989	1490.18	1632.485981	2025.44	2130.050972	2862.69	2907.247179	2349.21	2417.268843
22	1396.53	1555.942001	1398.58	1546.484094	2033.82	2217.221061	2882.24	3081.893095	2400.96	2583.532642
23	1831.07	1723.081976	1811.71	1718.487869	2291.68	2287.152446	3043.28	3055.127889	2537.99	2553.861795
24	1760.69	1634.124364	1756.6	1627.098981	2277.71	2252.82142	3103.6	3088.826049	2606.88	2589.557663
25	1826.97	1714.901977	1789.92	1701.870995	2255	2216.498719	2981.66	2945.01371	2543.76	2495.452803
26	1526.48	1582.330613	1529.65	1578.505856	2045.73	2187.167642	2795.1	2969.283122	2355.72	2528.607507
27	1706.33	1691.305739	1715.83	1681.079107	2229.12	2272.76721	2994.13	3001.561759	2519.93	2535.064854
28	1875.94	1608.875276	1839.82	1599.125794	2656.77	2437.517536	3687.65	3482.996359	3074.19	2900.53213
29	1716.38	1586.578714	1696.65	1579.844282	2437.64	2390.633731	3337.07	3304.866931	2814.84	2784.414364
30	1573.4	1564.122	1568.56	1563.100968	2235.08	2199.624781	3015.91	3008.683938	2554.93	2540.319971
31	1725.69	1697.832889	1713.03	1690.514681	2446.76	2563.164899	3388.09	3510.130811	2853.94	2947.2545
32	1385.73	1639.511989	1357.62	1632.485981	1893.63	2130.050972	2669.62	2907.247179	2157.63	2417.268843
33	1527.6	1651.940089	1523.69	1650.441281	2293.91	2352.33391	3250.68	3273.91259	2732.74	2756.638025
34	1390.01	1615.915751	1384.99	1611.694094	2039.78	2257.318522	2815.21	3076.094352	2369.69	2601.412646
35	1511.21	1574.150614	1496.51	1561.888982	2054.86	2106.698959	2833.27	2878.189765	2356.84	2423.017682
36	1529.65	1639.511989	1501.53	1632.485981	2044.8	2130.050972	2761.78	2907.247179	2315.51	2417.268843
37	1728.67	1644.899614	1714.89	1637.872982	2276.04	2254.992174	3053.15	3083.845834	2575.79	2607.454997
38	1694.79	1684.265264	1681.57	1668.510807	2561.64	2578.406452	3440.22	3503.181235	2863.81	2941.196815
39	1552.55	1607.735752	1539.89	1595.07722	2128.96	2195.784802	2934.18	3024.070175	2470.97	2546.723649
40	1754.18	1692.445264	1749.52	1685.127681	2650.44	2594.740181	3614.85	3495.907911	3029.32	2917.595844
41	1451.45	1640.651513	1468.02	1636.534556	2362.98	2438.326482	3243.61	3295.285011	2640.95	2736.978177
42	1764.6	1587.718238	1775.22	1583.892856	2237.69	2163.899734	2973.28	2889.574265	2522.91	2437.251164
43	1730.16	1663.108226	1714.52	1653.277869	2203.99	2165.324985	2949.82	2900.436629	2492.01	2458.731787
44	1900.89	1639.511989	1881.52	1632.485981	2374.15	2130.050972	3096.53	2907.247179	2640.2	2417.268843
45	1686.97	1657.720601	1676.91	1647.890869	2178.85	2096.94787	2989.29	2898.460487	2527.57	2431.348184
46	1674.87	1581.191089	1673.19	1574.457281	2398.54	2356.887695	3354.76	3324.070046	2824.52	2796.175685

B. 3. CECAIR METHANOL

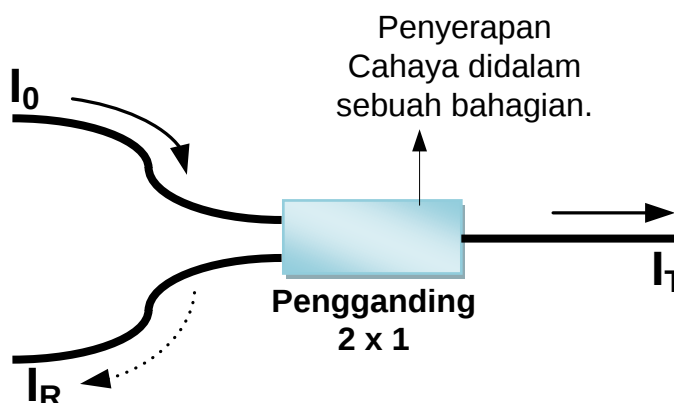
Larian	Tindakbalas									
	Ujikaji-1 (397.14 nm)	Ramalan (397.14 nm)	Ujikaji-2 (410.05 nm)	Ramalan (410.05 nm)	Ujikaji-3 (434.05 nm)	Ramalan (434.05 nm)	Ujikaji-4 (486.13 nm)	Ramalan (486.13 nm)	Ujikaji-5 (656.03 nm)	Ramalan (656.03 nm)
1	1834.42	1659.414524	1809.1	1657.608687	2296.89	2148.614663	3015.17	2829.233849	2570.2	2386.683638
2	1629.25	1785.226349	1641.54	1775.191612	2496.1	2546.579381	3311.57	3366.928591	2762.15	2808.527202
3	1548.26	1597.220761	1547.52	1602.627438	2138.64	2203.830167	2947.96	2956.917486	2479.35	2469.99402
4	1449.78	1599.883949	1451.82	1599.719512	2157.44	2210.762543	3136.74	3200.95609	2604.46	2676.690504
5	1606.35	1604.272011	1601.33	1601.406187	2248.48	2238.116668	3097.65	3001.908939	2589.75	2534.692191
6	1337.7	1537.690186	1336.77	1544.738262	2180.53	2252.435289	3047.01	3176.024094	2517.51	2625.06576
7	1438.23	1423.317674	1459.27	1427.620762	2326.31	2238.04171	3235.42	3145.736631	2648.4	2607.503993
8	1588.67	1543.089374	1576.94	1538.373812	2241.59	2111.689741	3143.82	2962.693719	2686.75	2496.32733
9	1618.45	1611.323261	1587.92	1600.184936	2256.3	2201.081501	3033.97	2999.203727	2517.14	2497.080363
10	1540.26	1604.272011	1551.43	1601.406187	2214.41	2238.116668	2951.5	3001.908939	2486.23	2534.692191
11	1582.89	1544.741435	1594.44	1543.517012	2328.91	2305.872631	3210.28	3189.578074	2666.08	2645.003092
12	1489.06	1603.260886	1509.17	1609.457312	2114.62	2189.108792	2790.82	2917.929399	2316.63	2425.710784
13	1595.37	1664.513135	1580.1	1654.270062	2142.55	2206.567327	2950.38	3001.044526	2503.18	2547.188913
14	1814.5	1670.853836	1808.73	1658.074112	2691.22	2463.021378	3731.03	3409.809108	3112.91	2806.538956
15	1577.68	1665.454649	1549.94	1664.438562	2086.32	2119.6964	2871.25	2869.275753	2400.96	2425.345341
16	1607.84	1544.030887	1612.31	1548.542312	2209.2	2119.371071	2911.09	2877.933373	2450.12	2429.570567
17	1534.49	1724.043711	1519.41	1712.159237	2383.65	2573.374674	3220.15	3501.527397	2701.08	2924.507458
18	1823.62	1610.312135	1784.9	1608.236062	2367.08	2321.443573	3147.36	3040.448331	2644.67	2570.290583
19	1507.49	1488.888374	1503.77	1492.339812	2159.12	2134.224817	3037.7	2950.432544	2566.1	2488.624205
20	1558.5	1478.460187	1570.05	1483.823262	2322.4	2329.825049	3295.74	3255.788054	2747.07	2725.08301

21	1677.29	1604.272011	1691.44	1601.406187	2235.64	2238.116668	3004.18	3001.908939	2535.57	2534.692191
22	1319.64	1489.899499	1320.94	1484.288687	1966.79	2157.21583	2796.41	3018.89543	2325.75	2528.046383
23	1805.94	1718.644523	1819.71	1718.523687	2277.34	2255.167412	2984.82	3006.302375	2533.15	2547.596397
24	1700.93	1657.461886	1686.22	1655.491312	2198.03	2150.942442	3061.34	2964.265549	2554.38	2496.064034
25	1787.69	1725.695773	1773.91	1717.302437	2202.12	2237.022245	2934.74	2973.403832	2508.95	2531.228735
26	1806.49	1598.231887	1772.98	1594.576312	2279.58	2299.404665	2877.77	3002.189528	2427.77	2525.608737
27	1835.54	1663.50201	1825.48	1662.321187	2326.49	2194.772749	3077.91	2916.772463	2616	2453.769116
28	1702.98	1608.660074	1671.51	1603.092862	2529.24	2438.129548	3622.67	3524.131632	3013.49	2946.741191
29	1513.26	1485.511436	1508.42	1482.602012	2239.92	2192.554058	3176.03	3152.330367	2649.51	2576.402008
30	1570.05	1482.848249	1581.03	1485.509937	2210.69	2141.81933	3009.02	2943.710646	2563.13	2484.592378
31	1733.33	1669.842711	1718.43	1666.125237	2466.87	2539.675999	3375.8	3496.711232	2853.19	2914.664223
32	1734.26	1604.272011	1712.47	1601.406187	2244.39	2238.116668	3016.84	3001.908939	2536.87	2534.692191
33	1545.29	1484.500311	1567.44	1490.653137	2318.3	2272.843662	3276.75	3186.917471	2744.84	2652.50226
34	1230.64	1542.078248	1261.36	1546.424937	1858.25	1956.542078	2628.66	2768.714167	2165.82	2290.275135
35	1707.63	1605.283136	1716.76	1593.355062	2260.77	2164.321218	3075.12	2921.956838	2505.78	2408.115282
36	1541.38	1604.272011	1545.1	1601.406187	2084.65	2238.116668	2810.19	3001.908939	2372.29	2534.692191
37	1460.2	1551.082136	1475.65	1547.321062	2035.87	2060.997518	2812.42	2883.440638	2335.8	2405.532032
38	1737.61	1730.083835	1760.51	1718.989112	2610.04	2652.394969	3533.86	3608.656783	2957.64	3041.770054
39	1443.45	1549.129498	1418.87	1545.203687	2048.34	2162.646911	2801.62	2960.910618	2375.09	2502.347473
40	1713.41	1723.032586	1728.11	1720.210362	2626.8	2517.872645	3631.42	3462.912855	2991.71	2866.002708
41	1532.81	1663.802587	1529.46	1659.295362	2446.39	2519.207387	3325.53	3381.076847	2716.17	2799.389944
42	1436	1545.042012	1426.13	1540.491187	1941.1	2082.788919	2662.36	2797.688749	2185.74	2318.555267
43	1374.37	1666.465774	1372.7	1656.387437	1869.8	1939.761162	2575.41	2679.323639	2109.41	2201.697643
44	1958.98	1604.272011	1946.13	1601.406187	2401.15	2238.116668	3131.16	3001.908939	2687.49	2534.692191
45	1754.55	1719.655649	1751.76	1710.472562	2279.02	2207.388825	3037.7	2941.866928	2579.14	2490.578716
46	1489.99	1538.701311	1485.71	1536.687137	2232.84	2304.302336	3196.32	3266.953656	2645.98	2715.595525

LAMPIRAN C

SPEKTROSKOPI PENYERAPAN CAHAYA ULTRAVIOLET DAN CAHAYA TAMPAK

Spektroskopi dalam julat panjang gelombang Ultraviolet – Tampak (UV-VIS) ialah sebagai salah satu teknik penghitungan di makmal dalam melakukan analisis makanan, analisis keadaan cuaca sekitaran atau lainnya.



Rajah C – 1. Bentuk fizikal pengganding gentian optik

Dari rajah diatas, persamaan cahaya yang masuk dan keluar daripada pengganding ialah,

$$I_0 = I_T + I_R \quad B - 1$$

Dari persamaan diatas menunjukkan bahawa I_0 sebagai intensiti cahaya yang masuk menuju gentian optik. I_T sebagai cahaya yang dikeluarkan dari gentian optik serta I_R sebagai cahaya yang dipantulkan semula menuju pengesan optik.

Bentuk fizikal matematik untuk hukum Bouguer-Lambert-Beer pada rajah L4 – 1 diatas

$$I_T = I_0 e^{-\epsilon CL} \quad B - 2$$

Persamaan L4 – 2 dimasukkan kedalam persamaan L4 – 1, sehingga boleh dituliskan sebagai persamaan,

$$I_0 = I_0 e^{-\epsilon CL} + I_R \quad B - 3$$

maka intensiti cahaya pantul (I_R) boleh ditentukan dengan persamaan,

$$I_R = I_0 - I_0 e^{-\varepsilon CL} = I_0(1 - e^{-\varepsilon CL}) \quad B - 4$$

Untuk kes cahaya pita lebar persamaan L4 – 3 dapat ditulis menjadi bentuk yang sama seperti dibawah ini ;

$$I_R(\lambda) = I_0(\lambda)(1 - e^{-\varepsilon(\lambda).C.L}) \quad B - 5$$

seperti yang terlihat pada persamaan L4 – 4 bahawa simbol $\varepsilon(\lambda)$ ialah sebagai koefisien pemupusan sesuai dengan panjang gelombang tertentu. Simbol C merupakan konsentrasi cecair daripada penyerapan cahaya sebuah bahan. Kemudian L dinyatakan sebagai nilai luasan kepala kuar gentian optik yang diubahsuai. Untuk nilai serapan (A) akan menggunakan persamaan,

$$A(\lambda) = \varepsilon(\lambda).C.L \quad B - 6$$

Nilai L ditentukan berasaskan daripada nilai luas lingkaran ditambah luas selimut kuar gentian optik tersebut. Seperti terlihat Rajah L4 – 2, bahagian hujung kuar dilakukan ubahsuai salutan gentian optik. Kuar gentian optik plastik sesuai dengan panjang kawasan sebagai pengesan optik. Untuk nilai penyerapan khas (a) dapat dikira sesuai dengan persamaan,

$$a = \frac{\varepsilon(\lambda)}{\text{Berat Atom}} \times 10^{-3} \quad B - 7$$

Untuk nilai a mempunyai unit $[\text{ml}, \text{g}^{-1}, \text{cm}^{-1}]$. Sebagai tambahan pada penyerapan cahaya khas, akan dapat ditentukan nilai Indeks kepekaan yang dilambangkan dengan persamaan dibawah ini,

$$S = \frac{10^{-3}}{a} \quad B - 8$$



Rajah C – 2. Bentuk fizikal kepala pengesan

Nilai C atau biasa disebut sebagai konsentrasi cecair yang akan dikesan. Untuk mendapatkan nilai konsentrasi cecair tersebut, kita perlu mengetahui beberapa spesifikasi bahan cecair tersebut, seperti; Molariti dan Berat cecair di dalam 1 liter cecair.

C. 1. UNTUK CECAIR ASETON

Spesifikasi kilang menunjukkan bahawa

1. Molariti Acetone = 58.08 g/mol dan
2. 1 liter setanding dengan 0.79 Kg.

Jumlah peratus ketulenan cairan Aseton yang akan diujikan sebesar; 0%, 10%, 50%, 55%, 100%. Contoh, apabila untuk mengesan cairan Aseton sebanyak 1.1 ml dengan ketulenan 55%, maka berat cecair (BC) akan diperoleh sebesar,

$$BC = \frac{0.79 \text{ Kg} \times 1.1 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} = 0.000869 \text{ Kg} = 0.869 \text{ gram}$$

Untuk konsentrasi cecair mempunyai unit iaitu mol/liter. Untuk nilai spesifikasi dinyatakan bahawa 58.08 gr sama dengan jumlah 1 mol cecair, sehingga untuk nilai konsentrasi (C) cecair sesuai dengan berat cecair akan didapat

$$C = \frac{0.869 \text{ gr} \times 1 \text{ mol}}{58.08 \text{ gr}} = 0.015 \text{ mol}$$

Untuk nilai konsentrasi cecair C [mol] akan sama dengan 0.015 mol/ liter.

C. 2. UNTUK CECAIR ETHANOL

Spesifikasi cecair;

1. Molariti Ethanol = 46.07 g/mol.
2. 1liter sama dengan 0.91 Kg.

Contoh apabila untuk mengesan cairan Aseton sebanyak 1.1 ml dengan ketulenan 55%, maka berat cecair (BC) akan diperoleh sebesar,

$$BC = \frac{1.1 \text{ ml} \times 0.91 \text{ Kg}}{1000 \text{ ml}} = 1.001 \text{ gr}$$

Untuk nilai spesifikasi molariti iaitu 46.07 gram akan sama dengan 1 mol cecair Ethanol. Maka nilai konsentrasi cecair (C) akan didapat

$$C = \frac{1.001 \text{ gr} \times 1 \text{ mol}}{46.07 \text{ gr}} = 0.022 \text{ mol}$$

Untuk nilai konsentrasi cecair C [mol] akan sama dengan 0.022 mol/ liter.

C. 3. UNTUK CECAIR ETHANOL

Spesifikasi cecair;

1. Molariti Methanol = 32.04 g/mol.
2. 1 liter sama dengan 0.79 Kg.

Contoh apabila untuk mengesan cairan Aseton sebanyak 1.1 ml dengan ketulinan 55%, maka berat cecair (BC) akan diperoleh sebesar,

$$BC = \frac{1.1 \text{ ml} \times 0.79 \text{ Kg}}{1000 \text{ ml}} = 0.869 \text{ gr}$$

Untuk nilai spesifikasi molariti iaitu 32.04 gram akan sama dengan 1 mol cecair Ethanol. Maka nilai konsentrasi cecair (C) akan didapat

$$C = \frac{0.869 \text{ gr} \times 1 \text{ mol}}{32.04 \text{ gr}} = 0.0312 \text{ mol}$$

Untuk nilai konsentrasi cecair C [mol] akan sama dengan 0.0312 mol/ liter.

LAMPIRAN D

PEMANTULAN DAN TRANSMISI
BAHAN LAPISAN NIPIS

Bahagian ini akan menunjukkan dan pembuktian persamaan nilai nisbah pemantulan R_{EFPI} dan transmisi T_{EFPI} daripada sebuah gelombang optik yang datang secara normal pada sebuah lapisan nipis ZnO pada gentian optik plastik dengan ketebalan sama dengan $\Delta\phi$, serta mempunyai indeks bias n_2 seperti yang ditunjukkan pada rajah D – 1. Medan elektrik dalam tiga medium diberikan dengan persamaan

$$\bar{E} = \begin{cases} \bar{y}\bar{E}_1^+ e^{-i\bar{k}_1 x} + \bar{y}\bar{E}_1^- e^{i\bar{k}_1 x} & \text{untuk } x < 0 \\ \bar{y}\bar{E}_2^+ e^{-i\bar{k}_2 x} + \bar{y}\bar{E}_2^- e^{i\bar{k}_2 x} & \text{untuk } 0 < x < L \\ \bar{y}\bar{E}_3^+ e^{-i\bar{k}_3 \Delta\phi} + \bar{y}\bar{E}_3^- e^{i\bar{k}_3 \Delta\phi} & \text{untuk } x > L \end{cases} \quad (D - 1)$$

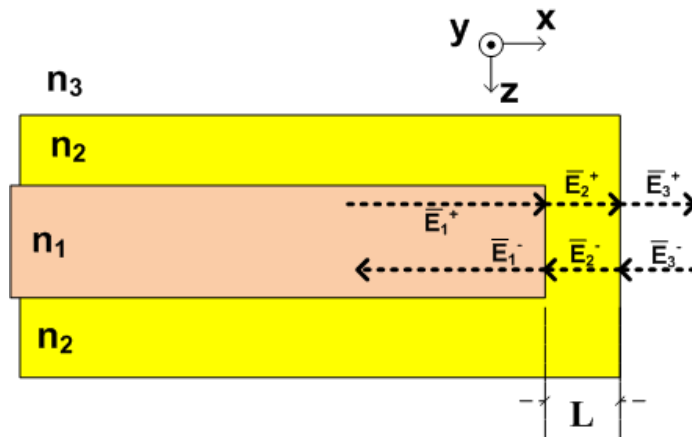
dimana untuk

$$\bar{k}_i = \left(\frac{\omega}{c}\right) n_i = k_0 n_i \quad \text{untuk nilai } i = 1, 2, 3 \quad (D - 2)$$

Persamaan (D – 2) diatas menunjukkan bahawa I adalah medium yang digunakan, k merupakan nombor gelombang n_1 , n_2 dan n_3 merupakan indeks bias menunjukkan kawasan $x < 0$, $0 < x < \Delta\phi$ dan $x > \Delta\phi$., kemudian

$$k_0 = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (D - 3)$$

untuk c sebagai kecepatan cahaya dalam ruang vakum, ω sebagai frekuensi sudut dan λ_0 sebagai panjang gelombang sumber cahaya.



Rajah D – 1. Pemantulan dan transmisi gelombang optik pada kuar optik

Persamaan (D – 3) melambangkan nombor gelombang pada ruang bebas. Secara tertulis bahawa $e^{i\omega t}$ sebagai fungsi kebergantungan masa telah ditekan dan kemudian tanda + dan – berhubungkait kepada arah rambat gelombang iaitu $+x$ dan $-x$. Faktor fasa (untuk medan dalam kawasan $x > L$) telah dipilih sehingga $\bar{E}_3^+$ dan $\bar{E}_3^-$ melambangkan medan pada $x = L$. Hubungkait medan magnetik dapat dikira dengan menggunakan persamaan

$$\bar{H} = \bar{k} \times \frac{\bar{E}}{\omega\mu} \quad (D - 4)$$

$\bar{k}$ ialah sebuah vektor perambatan bidang gelombang dan medan magnetik dalam tiga medium diberikan dalam bentuk persamaan,

$$\bar{H} = \begin{cases} \bar{z} \frac{n_1}{c\mu_0} \bar{E}_1^+ e^{-i\bar{k}_1 x} - \bar{z} \frac{n_1}{c\mu_0} \bar{E}_1^- e^{i\bar{k}_1 x} & \text{untuk } x < 0 \\ \bar{z} \frac{n_2}{c\mu_0} \bar{E}_2^+ e^{-i\bar{k}_2 x} - \bar{z} \frac{n_2}{c\mu_0} \bar{E}_2^- e^{i\bar{k}_2 x} & \text{untuk } 0 < x < L \\ \bar{z} \frac{n_3}{c\mu_0} \bar{E}_3^+ e^{i\bar{k}_3 \Delta\phi} e^{-i\bar{k}_3 x} - \bar{z} \frac{n_3}{c\mu_0} \bar{E}_3^- e^{-i\bar{k}_3 \Delta\phi} e^{i\bar{k}_3 x} & \text{untuk } x > L \end{cases} \quad (D - 5)$$

persamaan (D – 5) diandaikan untuk penggunaan bahan non-magnetik dengan nilai $\mu = \mu_0$. Pada keadaan awal, medan $\bar{E}$ dan $\bar{H}$ melambangkan komponen tangensial, serta kedua lambang tersebut harus berterusan pada $x = 0$ dan $x = L$. Jika berterusan pada $x = 0$, maka akan memberikan persamaan,

$$\bar{E}_1^+ + \bar{E}_1^- = \bar{E}_2^+ + \bar{E}_2^- \quad (D - 6)$$

$$n_1(\bar{E}_1^+ - \bar{E}_1^-) = n_1(\bar{E}_2^+ - \bar{E}_2^-) \quad (D - 7)$$

Manipulasi sederhana dilakukan untuk menulis persamaan diatas mengikuti bentuk persamaan,

$$\begin{pmatrix} \bar{E}_1^+ \\ \bar{E}_1^- \end{pmatrix} = S_1 \begin{pmatrix} \bar{E}_2^+ \\ \bar{E}_2^- \end{pmatrix} = \frac{1}{t_1} \begin{pmatrix} 1 & r_1 \\ r_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{E}_2^+ \\ \bar{E}_2^- \end{pmatrix} \quad (D - 8)$$

dimana r_1 dan t_1 amplitud pekali pemantulan dan pekali transmisi pada antaramuka pertama, maka dapat kita tuliskan kembali bentuk persamaan Fresnel.

$$r_1 = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (D - 9)$$

$$t_1 = 1 + r_1 = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (D - 10)$$

Untuk kasus ini $\theta_1 = \theta_2 = 0$, maka nilai pekali pemantulan dan pekali transmisi ini,

$$r_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (D - 11)$$

$$t_1 = \frac{2n_1}{n_1 + n_2} \quad D - 12$$

Berterusan pada medan $x = \Delta\phi$ akan memberikan persamaan seperti,

$$\begin{pmatrix} \bar{E}_1^+ \\ \bar{E}_1^- \end{pmatrix} = S_1 \begin{pmatrix} \bar{E}_3^+ \\ \bar{E}_3^- \end{pmatrix} = \frac{1}{t_2} \begin{pmatrix} e^{i\Delta\phi_2} & r_2 e^{i\Delta\phi_2} \\ r_2 e^{-i\Delta\phi_2} & e^{-i\Delta\phi_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{E}_3^+ \\ \bar{E}_3^- \end{pmatrix} \quad D - 13$$

dimana r_2 dan t_2 sebagai pekali amplitud pantulan dan transmisi pada antaramuka kedua (dalam media antaramuka n_2 dan n_3). Nilai anjakan fasa berlaku kerana tebal lapisan dapat dituliskan dalam persamaan

$$\Delta\phi_2 = k_2 L = k_0 n_2 L \quad D - 14$$

Kita dapat kombinasikan persamaan ($D - 8$) dan ($D - 13$) untuk menghasilkan persamaan

$$\begin{pmatrix} \bar{E}_1^+ \\ \bar{E}_1^- \end{pmatrix} = S_1 \begin{pmatrix} \bar{E}_3^+ \\ \bar{E}_3^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{E}_3^+ \\ \bar{E}_3^- \end{pmatrix} \quad D - 15$$

dari persamaan ($D - 15$) diatas, nilai – nilai komponen matrik S_1 dapat kita tentukan,

$$a = \frac{1}{t_1 t_2} (e^{i\Delta\phi_2} + r_1 r_2 e^{-i\Delta\phi_2}) \quad D - 16$$

$$b = \frac{1}{t_1 t_2} (r_2 e^{i\Delta\phi_2} + r_1 e^{-i\Delta\phi_2}) \quad D - 17$$

$$c = \frac{1}{t_1 t_2} (r_1 e^{i\Delta\phi_2} + r_2 e^{-i\Delta\phi_2}) \quad D - 18$$

$$d = \frac{1}{t_1 t_2} (r_1 r_2 e^{i\Delta\phi_2} + e^{-i\Delta\phi_2}) \quad D - 19$$

Kemudian pada medium ketiga, cahaya tidak akan dipantulkan semula dan $\bar{E}_3^- = 0$.

Pernyataan ini memberikan kita persamaan

$$\bar{E}_1^+ = a \bar{E}_3^+ \quad D - 20$$

$$\bar{E}_1^- = c \bar{E}_3^+ \quad D - 21$$

maka, nilai pekali pantulan dan transmisi daripada lapisan kuar optik ialah,

$$\begin{aligned} r &= \frac{\bar{E}_1^-}{\bar{E}_1^+} = \frac{c \bar{E}_3^+}{a \bar{E}_3^+} = \frac{c}{a} \\ &= \frac{r_1 e^{i\Delta\phi_2} + r_2 e^{-i\Delta\phi_2}}{e^{i\Delta\phi_2} + r_1 r_2 e^{-i\Delta\phi_2}} \quad D - 22 \\ t &= \frac{\bar{E}_3^+}{\bar{E}_1^+} = \frac{\bar{E}_3^+}{a \bar{E}_3^+} = \frac{1}{a} \end{aligned}$$

$$= \frac{t_1 t_2}{e^{i\Delta\phi_2} + r_1 r_2 e^{-i\Delta\phi_2}} \quad D - 23$$

dari persamaan $D - 22$ dan $D - 23$ akan dapat menentukan nilai pemantulan interferometer Fabry – Perot ekstrinsik pada gentian optik iaitu;

$$\begin{aligned} R_{EFPI} = |r|^2 &= \left| \frac{r_1 e^{i\Delta\phi_2} + r_2 e^{-i\Delta\phi_2}}{e^{i\Delta\phi_2} + r_1 r_2 e^{-i\Delta\phi_2}} \right|^2 \\ &= \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(\Delta\phi)}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(\Delta\phi)} \end{aligned} \quad D - 24$$

dan

$$\begin{aligned} T_{EFPI} &= \frac{\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_3}{\mu_0}\right)} |\bar{E}_3^+|^2}{\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_1}{\mu_0}\right)} |\bar{E}_1^+|^2} = |t|^2 \frac{n_3}{n_1} \\ &= \frac{n_3}{n_1} \frac{t_1^2 t_2^2}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(\Delta\phi)} \end{aligned} \quad D - 25$$

dengan mengganti nilai untuk r_1, r_2, t_1 , dan t_2 , kita akan mendapatkan persamaan,

$$R + T = 1 \quad D - 26$$

maka, bila $\cos(\Delta\phi) = -1$ sebagai contohnya, maka

$$\Delta\phi_2 = (m + 1/2)\pi \quad \text{untuk nilai } m = 0, 1, 2 \dots \quad D - 27$$

atau

$$L_2 = \frac{\lambda_0}{4n_2}, \frac{3\lambda_0}{4n_2}, \frac{5\lambda_0}{4n_2}, \dots \dots \dots \quad D - 28$$

Pemantulan daripada lapisan kuar ini akan bernilai minimum (untuk $r_1 r_2 > 0$) dan persamaan pemantulan interferometer Fabry – Perot ekstrinsik dapat disederhanakan menjadi,

$$R_{EFPI} = \left(\frac{r_1 - r_2}{1 - r_1 r_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1 n_3 - n_2^2}{n_1 n_3 + n_2^2} \right)^2 \quad D - 29$$

dengan demikian, pemantulan akan hilang jika $n_2 = \sqrt{n_1 n_3}$. Dengan menggunakan lapisan ZnO pada penyelidikan ini, nilai pemantulan interferometer Fabry – Perot ekstrinsik dapat menjadi nol pada setiap pemilihan panjang gelombang (λ_c) dan ketebalan lapisan $\left(\frac{\lambda_c}{4n_2}\right)$. Teknik ini akan mengurangkan pemantulan cahaya pada permukaan, serta permukaan ini disebut menjadi lapisan anti pantulan cahaya.

Sebagai contoh, kita menentukan indeks bias bahan lapisan ZnO ialah n_2 pada semua permukaan kuar, indeks bias teras gentian optik n_1 dan indeks bias bahan wap kimia n_3 , maka keadaan kes khas apabila $n_3 = n_1$ untuk polarisasi-p (dikenal polarisasi selari) dan polarisasi-s (polarisasi siri), maka nilai pekali pantulan akan dapat dituliskan menjadi

$$r_2 = -r_1 = r \quad D - 30$$

maka persamaan $D - 24$ akan menjadi persamaan,

$$\begin{aligned} R_{EFPI} &= \frac{2r^2(1 - \cos(\Delta\phi))}{1 + r^4 - 2r^2 \cos(\Delta\phi)} \\ &= \frac{F \sin^2(\Delta\phi)}{1 + F \sin^2(\Delta\phi)} \end{aligned} \quad D - 31$$

dimana

$$F = \frac{4R^2}{(1 - r^2)^2} \quad D - 32$$

Persamaan $D - 32$ dikatakan sebagai gelombang cahaya terbaik. Transmisi gelombang optik dapat dikira dengan menggunakan persamaan $D - 25$ atau dapat langsung dituliskan semula

$$T_{EFPI} = 1 - R_{EFPI} = \frac{1}{1 + F \sin^2(\Delta\phi)} \quad D - 33$$

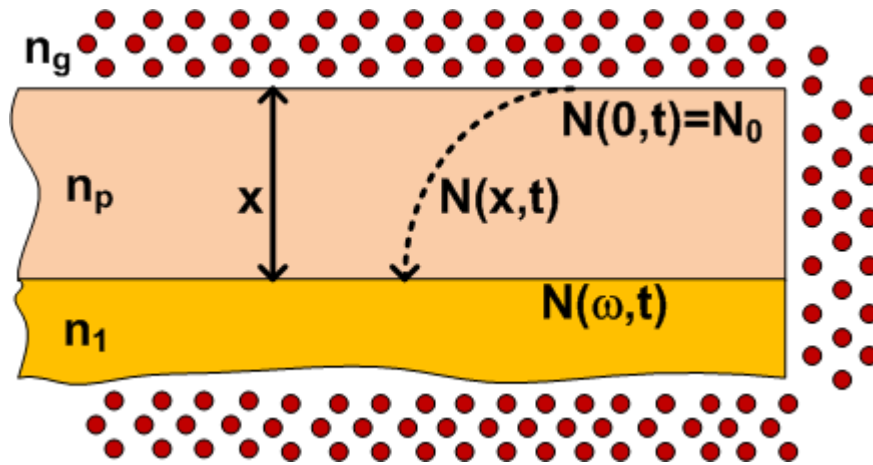
persamaan $D - 28$ menunjukkan kepelbagaian transmisi gelombang optik sebagai sebuah fungsi L dengan nilai F yang berbeza – beza. Seperti yang dilihat pada persamaan $D - 33$. Nilai perbezaan fasa gelombang optik interferometer Fabry – Perot ekstrinsik menjadi kesatuan untuk ,

$$\Delta\phi_2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right) n_2 L \cos \theta_2 = m\pi \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad D - 34$$

LAMPIRAN E

PERSAMAAN KEPEKATAN WAP KIMIA

Rajah E – 1 menjelaskan proses pendedahan kepala kuar terhadap bahan wap kimia. Pendedahan ini mengakibatkan berlakunya ketebalan lapisan atau proses pembengkakan.



Rajah E – 1. Bentuk pendedahan kepala kuar terhadap wap kimia

Kepekatan wap kimia $N(x, t)$, pada posisi x daripada permukaan atas serta pada masa t diberikan persamaan,

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial^2 x} \quad \text{E – 1}$$

dimana D sebagai pekali difusi atau nilai pekali yang berlaku kerana berpindahnya suatu zat kimia kedalam bahan lapisan kepala kuar gentian optik. Untuk andaian keadaan awal diberikan $N(x, 0) = 0$ dan $N(0, t) = N_0$, maka solusi persamaan E – 1 dapat dituliskan persamaan kepekatan wap kimia ialah,

$$\begin{aligned} N(x, t) &= N_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-\omega^2} d\omega \right) \\ &= N_0 \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) - 1 \right) \end{aligned} \quad \text{E – 2}$$

Untuk andaian panjang lapisan salutan l yang telah ditentukan, maka persamaan kepekatan wap kimia dapat dituliskan menjadi,

$$N(x, t) = N_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int \frac{x - \omega^2}{2\sqrt{Dt} \cdot l} d\omega \right) \quad \text{E - 3}$$

Untuk solusi persamaan E - 3, kita dapat menuliskan persamaan,

$$\int \frac{x - \omega^2}{2l\sqrt{Dt}} d\omega = \frac{\omega x}{2l\sqrt{Dt}} - \frac{\omega^3}{6l\sqrt{Dt}} \quad \text{E - 4}$$

persamaan E - 4 diatas menunjukkan bahawa ω sebagai fungsiketebalan lapisan, x sebagai nilai awal untuk ketebalan l ialah panjang salutan yang dilapis oleh bahan ZnO, D ditakrifkan sebagai pemalar difusi $1.5 \times 10^{-7} mm^2 Sec^2$ dan t dilambangkan sebagai fungsi masa pendedahan.

Dari persamaan E - 1 dapat kita lakukan pengkamiran persamaan E - 2 menjadi persamaan perubahan kepekatan wap kimia dari permukaan salutan dengan fungsi masa;

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = N_0 \left(\frac{Dxe^{-\frac{x}{4\sqrt{Dt}}}}{2\sqrt{\pi}(Dt)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{E - 5}$$

atauperubahan kepekatan wap kimia dari permukaan salutan dengan fungsi ketebalan lapisan,

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial x} = N_0 \left(\frac{e^{-\frac{x}{4\sqrt{Dt}}}}{\sqrt{\pi}\sqrt{Dt}} \right) \quad \text{E - 6}$$

Kepekatan wap kimia akan memberikan kesan perubahan indeks bias. Perubahan kepekatan wap kimia setanding dengan perubahan indeks bias. Dengan fungsi yang sama dengan persamaan E - 1, maka nilai indeks bias salutan,

$$n(x, t) = \frac{n_0 n_{\infty}}{(n_0 - n_{\infty})N + n_{\infty}} \quad \text{E - 7}$$

dimana nilai n_0 dinyatakan sebagai indeks bias pada keadaan $N(x, 0)$. $n_\infty(N_0)$ merupakan bagian akhir pada $N(x, \infty) = N_0$, berdasarkan ujikaji bahawa $n_\infty(N_0) = N_0$.

Kepadatan yang berkurangan dalam filem polimer memberikan impak dengan peningkatan nilai kepekatan wap kimia $N(x, t)$, indeks bias lapisan pengesan pada fungsi x dan t , maka $n(x, t)$ dapat digunakan dengan mengikuti persamaan dibawah ini,

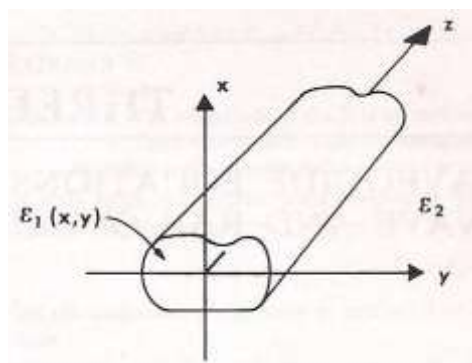
$$n(x, t) = \frac{n_0 n_\infty(N_0)}{\frac{(n_0 - n_\infty(N_0))N(x, t)}{N_0} + n_\infty(N_0)} \quad \text{E - 8}$$

daripada persamaan E - 7 dan E - 8 menunjukkan bahawa n_0 ditakrifkan sebagai indeks bias salutan yang berlapis ZnO dan keadaan wap kimia belum dapat menembusi lapisan sepanjang kuar optik (pada masa $t = 0$). Simbol $n_\infty(N_0)$ menunjukkan indeks bias salutan lapisan ZnO dengan keadaan wap kimia dapat menembusi seluruh permukaan secara lengkap dengan waktu yang tak terhingga ($t = \infty$).

LAMPIRAN F

PERSAMAAN ASAS PANDU GELOMBANG

Mempertimbangkan struktur pandu gelombang secara umum yang ditunjukkan pada Rajah 4.1. Matlamat pada bab untuk menganalisis dan reka bentuk sebuah struktur dari model matematik. Bahagian ini akan menggunakan model ini pada akhirnya untuk menjelaskan mod – mod dalam sebuah pandu gelombang papak dielektrik dan dalam sebuah gentian optik lingkaran. Sebuah mod ialah sebuah tatarajah medan yang dibenarkan, untuk memberikan sebuah geometri pandu gelombang yang memenuhi persamaan Maxwell (atau persamaan gelombang yang diperoleh) dan seluruh permasalahan syarat batas pandu gelombang. Model gelombang optik akan menghasilkan gambaran medan – medan yang lengkap, dimana ungkapan untuk amplitud dan komponen vektor perambatan medan – medan digabungkan dengan sebuah mod yang akan dijelaskan berikutnya.



Rajah F – 1 Tatarajah pandu gelombang dielektrik umum digunakan untuk perambatan tenaga pada arah – z

Kita akan menganggap bahawa tujuan reka bentuk ialah untuk membuat sebuah pandu gelombang dielektrik yang merambatkan tenaga pada sebuah arah yang diberikan. Kita mentakrifkan paksi membujur daripada pandu gelombang sebagai paksi –z dan perukaan tersebut seperti tenaga merambat secara terpandu dalam arah – z dengan sebuah pemalar rambatan membujur β (β ialah komponen membujur daripada vektor perambatan $\vec{k}$). Kita akan berasumsi bahawa permittivity $\epsilon(x, y)$ tidak bergantung

kepada paksi – z tetapi nilai paksi – x dan y sahaja. Menggunakan simbol yang telah digunakan pada bab 2 dan asumsi petikan diatas, kita dapat menuliskan medan Elektrik dan Magnetik dalam sebuah pandu gelombang seperti;

$$\bar{E} = \bar{E}_0(x, y)e^{-j\beta z} \quad \text{F – 1}$$

$$\bar{H} = \bar{H}_0(x, y)e^{-j\beta z} \quad \text{F – 2}$$

dimana pemalar perambatan β akan ditentukan.

Jika digantikan medan – medan diatas kedalam persamaan Maxwell Lampiran F, bahagian F – 1 dan F – 2 , kita akan menjelaskan dalam bentuk komponen – komponen yang terperinci.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right)\hat{a}_x + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right)\hat{a}_y + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}\right)\hat{a}_z \\ = \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}\hat{a}_x + \varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t}\hat{a}_y + \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t}\hat{a}_z \quad \text{F – 3} \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right)\hat{a}_x + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right)\hat{a}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right)\hat{a}_z \\ = -\mu \frac{\partial H_x}{\partial t}\hat{a}_x - \mu \frac{\partial H_y}{\partial t}\hat{a}_y - \mu \frac{\partial H_z}{\partial t}\hat{a}_z \quad \text{F – 4} \end{aligned}$$

Pada anggapan awal bahawa terdapat medan yang berbeza - beza dengan waktu yang berkenaan sebagai $e^{j\omega t}$ serta boleh menggunakan persamaan F – 1 dan F – 2 untuk menuliskan terbitan – terbitan berkenaan kepada fungsi t dan z secara tertulis,

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = j\omega E_x \quad \frac{\partial E_y}{\partial t} = j\omega E_y \quad \frac{\partial E_z}{\partial t} = j\omega E_z \quad \text{F – 5a}$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = j\omega H_x \quad \frac{\partial H_y}{\partial t} = j\omega H_y \quad \frac{\partial H_z}{\partial t} = j\omega H_z \quad \text{F – 5b}$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = -j\beta E_y \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} = -j\beta E_x \quad \text{F – 5c}$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial z} = j\omega E_z \quad \frac{\partial E_z}{\partial t} = j\omega E_z \quad \text{F – 5d}$$

Dengan mengganti persamaan F – 5 kedalam F – 3 dan F – 4 dan menuliskan dalam bentuk komponen,

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} + j\beta H_y = j\omega\epsilon E_x \quad \text{F – 6a}$$

$$-j\beta H_x - \frac{\partial H_z}{\partial x} = j\omega\epsilon E_y \quad \text{F – 6b}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = j\omega\epsilon E_z \quad \text{F – 6c}$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} + j\beta E_y = -j\omega\mu H_x \quad \text{F – 7a}$$

$$-j\beta E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -j\omega\mu H_y \quad \text{F – 7b}$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -j\omega\mu H_z \quad \text{F – 7c}$$

Kita akan memanipulasikan persamaan F – 6 dan F – 7 untuk menyatakan E_x , E_y , H_x , H_y kedalam bahagian E_z , dan H_z (komponen melintang dalam bahagian komponen membujur). Apabila kita mencapai tugas yang matlamat utamanya untuk mendapatkan persamaan dalam bahagian komponen medan membujur sahaja (E_z , dan H_z). Maka kita akan menggunakan persamaan – persamaan ini untuk menganalisis pandu gelombang dielektrik.

Bekerja dengan persamaan F – 6a dan F – 7b sebagai contohnya, maka akan dapat ditentukan H_z dan E_z . Menggantikan persamaan F – 7b kedalam F – 6a, maka

$$j\omega\epsilon E_x = \frac{\partial H_z}{\partial y} + \frac{j\beta}{-j\omega\mu} \left(-j\beta E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right)$$

atau

$$\left(j\omega\epsilon + \frac{-j\beta^2}{\omega\mu} \right) E_x = \frac{\partial H_z}{\partial y} + \frac{\beta}{\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial x}$$

dengan mendarabkan kedua sisi persamaan diatas dengan $-j\omega\mu$

$$(\omega^2\mu\epsilon - \beta^2)E_x = -j \left(\omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial y} + \beta \frac{\partial E_z}{\partial x} \right)$$

maka

$$\kappa^2 = k^2 - \beta^2 k^2 = \omega^2 \mu \varepsilon \quad \text{F - 8}$$

Dapat dijelaskan bahawa

$$E_x = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\omega \mu \frac{\partial H_z}{\partial y} + \beta \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \quad \text{F - 9}$$

dimulai dengan persamaan F – 6b dan F – 7a dalam sebuah bentuk yang sama, kita boleh menjelaskan

$$E_y = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{\partial E_z}{\partial y} - \omega \mu \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) \quad \text{F - 10}$$

dengan menggunakan persamaan F – 7a dan F – 6b, kita boleh menerangkan bahawa

$$H_x = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{\partial H_z}{\partial x} - \omega \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \quad \text{F - 11}$$

serta menggunakan persamaan F – 7b dan F – 6a

$$H_y = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{\partial H_z}{\partial y} + \omega \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \quad \text{F - 12}$$

jika kita menyelesaikan untuk komponen medan membujur, maka dapat pula menggunakan persamaan F – 9 untuk F – 12 untuk menjelaskan komponen melintang. Sekarang kita berkepentingan dalam memperoleh persamaan pada bahagian komponen medan membujur sahaja (E_z dan H_z). Jika pada persamaan F – 6c kita gantikan dengan persamaan F – 11 dan F – 12 maka

$$\frac{-j}{\kappa^2} \beta \frac{\partial^2 H_z}{\partial x \partial y} - \frac{j}{\kappa^2} \omega \varepsilon \frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{j}{\kappa^2} \beta \frac{\partial^2 H_z}{\partial x \partial y} - \frac{j}{\kappa^2} \omega \varepsilon \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} = j \omega \varepsilon E_z$$

Persamaan diatas didarabkan dengan $j k^2 / \omega \varepsilon$ maka akan menghasilkan,

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \kappa^2 E_z = 0 \quad \text{F - 13}$$

Ini merupakan hanya sebuah bahagian persamaan pembeza dalam E_z . Dalam hal yang sama, dimulai dengan persamaan F – 7c dan ganti dengan persamaan F – 9 dan F – 10 kita akan menghasilkan

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + \kappa^2 H_z = 0 \quad \text{F – 14}$$

Persamaan F – 13 dan F – 14 merupakan bentuk ubahsuai daripada sebuah gelombang dan boleh dituliskan kembali seperti:

$$\nabla_T^2 E_z + \kappa^2 E_z = 0 \quad \text{F – 15}$$

$$\nabla_T^2 H_z + \kappa^2 H_z = 0 \quad \text{F – 16}$$

dimana

$$\nabla_T^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad \text{F – 17}$$

∇_T^2 ialah operator laplacian melintang. Kita akan menggunakan persamaan F – 15 dan F – 16 dipindahkan kedalam penyelarasan silinder untuk membentuk medan – medan di dalam gentian optik. Secara am, ketika ε bergantung dengan x dan y , persamaan F – 15 dan F – 16 tidak menghasilkan nilai yang tepat, sejak terbitannya berkenaan dengan x dan y daripada nilai ε yang tidak diambil (ε diasumsikan menjadi sebuah pemalar).

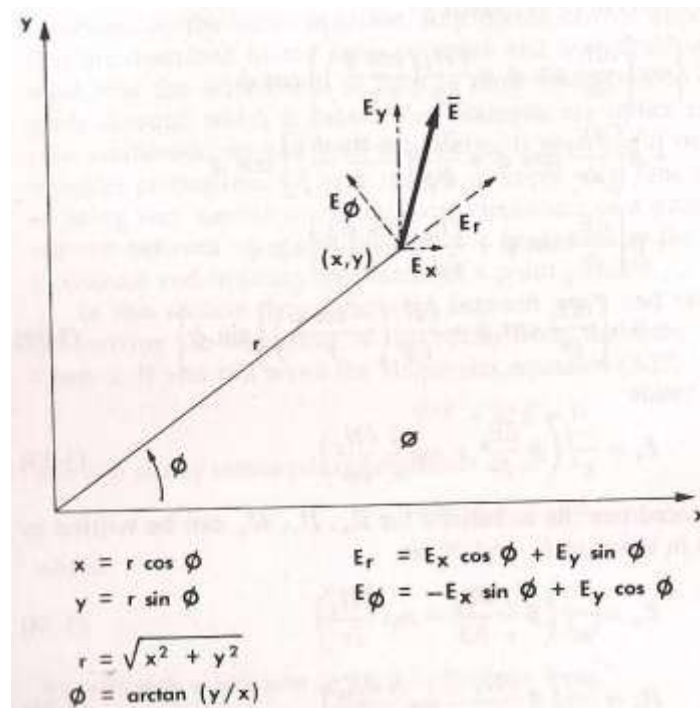
F. 1 PERSAMAAN PANDU GELOMBANG PADA KOORDINAT SILINDER

Pada bahagian awal lampiran ini, kita telah mengembangkan sebuah model matematik untuk menganalisis pandu gelombang dielektrik dengan perambatan medan – medannya pada arah z . Model ini terdiri daripada satu perangkat persamaan F – 9 sehingga F – 12 berhubungkait dengan komponen – komponen medan melintang terhadap komponen – komponen medan membujur, dan dua persamaan gelombang terubahsuai F – 15 dan F – 16 yang dituliskan dalam bahagian komponen – komponen membujur daripada medan – medan pandu gelombang. Kemudian kita

memindahkan persamaan – persamaan diatas dari paksi kartesian menjadi paksi silinder sehingga kita boleh menggunakannya untuk geometri dikawasan gentian optik tersebut. Pertimbangan geometri dalam pemindahan dari paksi kartesian ke paksi silinder ditunjukkan pada rajah F. 2. Paksi z merupakan paksi optik pada sistem ini, serta digunakan untuk kedua sistem paksi ini. Sebagai contoh dari proses pertukaran paksi mempertimbangkan ungkapan yang menyatakan E_r dalam paksi silinder.

$$E_r = E_x \cos \phi + E_y \sin \phi \quad \text{dan} \quad E_\phi = -E_x \sin \phi + E_y \cos \phi \quad \text{F – 18}$$

dimana dalam paksi kartesian E_x dan E_y diberikan oleh persamaan F – 9 dan F – 10.



Rajah F – 2 Geometri untuk pertukaran dari paksi kartesian kepada paksi silinder
(Sumber : Cherin, 1983)

Dengan mengganti persamaan – persamaan pada rajah F.2 kedalam persamaan F – 18

$$E_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial y} \cos \phi + \beta \frac{\partial E_z}{\partial x} \cos \phi + \beta \frac{\partial E_z}{\partial y} \sin \phi - \omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial x} \sin \phi \right) \quad \text{F – 19}$$

Menggunakan aturan rantai untuk menjelaskan terbitan separa yang diperlukan dalam paksi silinder

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial \Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \text{ atau } \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial f}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial y} + \frac{\partial f}{\partial \Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad \text{F - 20}$$

dimana

$$\begin{aligned} \frac{\partial r}{\partial x} = \frac{x}{r} = \cos \phi, \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{-y}{r^2} = \frac{-\sin \phi}{r}, \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{y}{r} = \sin \phi, \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{x}{r^2} = \frac{\cos \phi}{r} \end{aligned} \quad \text{F - 21}$$

Menggunakan persamaan F - 20 dan F - 21 di dalam F - 19 akan menghasilkan,

$$\begin{aligned} E_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left\{ \omega \mu \left[\frac{\partial H_z}{\partial r} \sin \phi + \frac{\partial H_z}{\partial \phi} \left(\frac{\cos \phi}{r} \right) \right] \cos \phi \right. \\ + \beta \left[\frac{\partial E_z}{\partial x} \cos \phi + \frac{\partial E_z}{\partial \phi} \left(\frac{-\sin \phi}{r} \right) \right] \cos \phi \\ + \beta \left[\frac{\partial E_z}{\partial r} \sin \phi + \frac{\partial E_z}{\partial \phi} \left(\frac{\cos \phi}{r} \right) \right] \sin \phi - \omega \mu \left[\frac{\partial H_z}{\partial r} \cos \phi \right. \\ \left. \left. + \frac{\partial H_z}{\partial \phi} \left(\frac{-\sin \phi}{r} \right) \right] \sin \phi \right\} \end{aligned} \quad \text{F - 22}$$

Persamaan F - 22 dapat disingkat menjadi,

$$E_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{\partial E_z}{\partial r} + \omega \mu \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} \right) \quad \text{F - 23}$$

Dengan mengikut prosedur persamaan yang sama untuk E_ϕ , H_r , H_ϕ boleh ditulis dalam koordinat silinder pada bahagian E_z dan H_z sebagai persamaan

$$E_\phi = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} - \omega \mu \frac{\partial H_z}{\partial r} \right) \quad \text{F - 24}$$

$$H_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{\partial H_z}{\partial r} - \omega \varepsilon \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} \right) \quad \text{F - 25}$$

$$H_\phi = \frac{-j}{\kappa^2} \left(\beta \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} + \omega \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) \quad \text{F - 26}$$

Sebagai tambahan pengubahsuaian persamaan gelombang F – 15 dan F – 16 dalam koordinat silinder menjadi

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} + \kappa^2 E_z = 0 \quad \text{F - 27}$$

dan

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \phi^2} + \kappa^2 H_z = 0 \quad \text{F - 28}$$

Persamaan F – 27 dan F – 28 akan diselesaikan untuk menjelaskan ungkapan – ungkapan untuk E_z dan H_z dalam sebuah gentian optik lingkaran. Ungkapan – ungkapan ini akan diganti kedalam F – 23 kepada F – 26 untuk mendapatkan gambaran lengkap daripada medan – medan di dalam sebuah gentian.

F. 2 PERSAMAAN GELOMBANG CAHAYA PADA KOORDINAT SILINDER

Untuk penggunaan yang melibatkan gentian optik, kita perlu mengetahui persamaan cahaya pada koordinat. Kita akan sekali lagi menjelaskan bahawa indeks bias merupakan nilai bebas daripada z (koordinat membujur) tetapi boleh menjadi sebuah fungsi koordinat melintang r dan ϕ , iaitu $n = n(r, \phi)$.

Persamaan lintasan cahaya yang diharapkan,

$$\nabla S = n \hat{a}_s \quad \text{F - 29}$$

Untuk unit vektor tangent terhadap sinar cahaya

$$\nabla S = n \frac{d\vec{r}}{ds} \quad \text{F - 30}$$

Untuk komponen persamaan cahaya ialah,

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{dx}{ds} \right) = \frac{\partial n}{\partial x} \quad \text{F - 31}$$

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{dy}{ds} \right) = \frac{\partial n}{\partial y} \quad \text{F – 32}$$

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{dz}{ds} \right) = \frac{\partial n}{\partial z} \quad \text{F – 33}$$

Perpindahan dari koordinat kartesian menjadi koordinat silinder daripada persamaan F – 31 dan F – 32 memerlukan perangkat persamaan – persamaan :

$$x = r \cos \phi \quad \text{F – 34a}$$

$$y = r \sin \phi \quad \text{F – 34b}$$

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad \text{F – 35a}$$

$$\phi = \tan^{-1}(y/x) \quad \text{F – 35b}$$

Terbitan separa daripada n yang berkenaan dengan x dan y dapat diungkapkan sebagai,

$$\frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial n}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial n}{\partial r} \cos \phi - \frac{\partial n}{\partial \phi} \frac{\sin \phi}{r} \quad \text{F – 36}$$

$$\frac{\partial n}{\partial y} = \frac{\partial n}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial y} + \frac{\partial n}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial n}{\partial r} \sin \phi + \frac{\partial n}{\partial \phi} \frac{\cos \phi}{r} \quad \text{F – 37}$$

dan terbitan daripada x dan y berkenaan dengan s menjadi persamaan,

$$\frac{dx}{ds} = \frac{\partial r}{\partial s} \cos \phi - r \frac{\partial \phi}{\partial s} \sin \phi \quad \text{F – 38}$$

$$\frac{dy}{ds} = \frac{\partial r}{\partial s} \sin \phi + r \frac{\partial \phi}{\partial s} \cos \phi \quad \text{F – 39}$$

Menggunakan persamaan F – 35 untuk F – 39 persamaan cahaya dapat diterbitkan dalam koordinat silinder. Dibawah ini senarai komponen r , ϕ , dan z dalam koordinat silinder daripada persamaan cahaya.

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{dr}{ds} \right) - nr \left(\frac{d\phi}{ds} \right)^2 = \frac{\partial n}{\partial r} (\text{komponen} - r) \quad \text{F - 40}$$

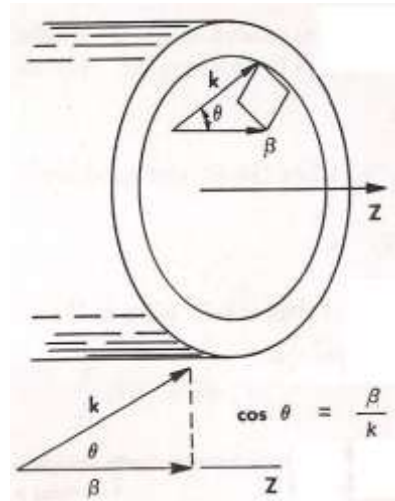
$$\frac{d}{ds} \left(nr^2 \frac{d\phi}{ds} \right) = \frac{\partial n}{\partial \phi} (\text{komponen} - \phi) \quad \text{F - 41}$$

$$\frac{d}{ds} \left(n \frac{dz}{ds} \right) = \frac{\partial n}{\partial z} (\text{komponen} - z) \quad \text{F - 42}$$

Persamaan F – 40 sehingga F – 42 menjadi sah walaupun jika $n(r, \phi, z)$. Jika n adalah nilai bebas daripada z , persamaan F – 42 menjadi persamaan

$$n \frac{dz}{ds} = n \cos \theta = \text{Berterusan} = n \frac{\beta}{k} \quad \text{F - 43}$$

dimana k ialah nilai magnitud dan β ialah komponen z daripada vektor propagasi satah gelombang takrifan cahaya, seperti dijelaskan pada Rajah F.3.



Rajah F – 3 Komponen vektor perambatan cahaya optik(Sumber: Cherin, 1983)

Jika sebagai kes yang selalu ada pada gentian optik, n merupakan nilai bebas daripada ϕ , kemudian persamaan F – 41 menjadi,

$$nr^2 \frac{d\phi}{ds} = \text{berterusan} \quad \text{F - 44}$$

Sebagai tambahannya, hal ini selalunya mudah untuk mendekati persamaan cahaya dengan menggantikan ds dengan dz . Pendekatan ini sah jika sudut cahaya relatif terhadap paksi z yang bernilai kecil. Pendekatan persamaan cahaya dikatakan sebagai persamaan cahaya paraxial sejak seluruh cahaya mendekati secara selari terhadap paksi z . Pendekatan paraxial juga memerlukan bahawa $n(x, y)$ atau $n(r, \phi)$ dengan pelbagai nilai yang hanya bernilai kecil.

Bentuk paraxial daripada persamaan cahaya F – 31, F – 32 dan F – 33 ialah,

$$\frac{d^2 \bar{r}}{dz^2} = \frac{1}{n_a} \nabla n \quad \text{F – 45}$$

dan akhirnya persamaan paraksial cahaya dalam koordinat silinder menjadi,

$$\frac{d^2 r}{dz^2} - r \left(\frac{d\phi}{dz} \right)^2 = \frac{1}{n_a} \frac{\partial n}{\partial r} \quad \text{F – 46}$$

$$\frac{d}{dz} \left(r^2 \frac{d\phi}{dz} \right) = \frac{1}{n_a} \frac{\partial n}{\partial \phi} \quad \text{F – 47}$$

Persamaan F – 46 dan F – 47 akan digunakan untuk menganalisa lintasan cahaya daripada sebuah gentian optik dengan sebuah profil parabolik indeks bias gentian optik.

F. 3 SYARAT SEMPADAN DAN PERSAMAAN PENCIRIAN UNTUK GENTIAN INDEKS BERTINGKAT

Syarat sempadan untuk medan pada antaramuka teras – salutan ($r = a$) boleh dituliskan sebagai persamaan

$$\left. \begin{aligned} Ez_1 &= Ez_2 \\ E\phi_1 &= E\phi_2 \\ Hz_1 &= Hz_2 \\ H\phi_1 &= H\phi_2 \end{aligned} \right\} r = a$$

Untuk tanda 1 dan 2 menunjukkan medan pada teras dan salutan gentian optik. Penggunaan hasil sempadan empat persamaan simultan untuk nilai yang tidak diketahui A, B, C, dan D.

$$E_z = AJ_v(\kappa r)e^{jv\phi} \quad \text{F - 48}$$

$$= BJ_v(\kappa r)e^{jv\phi} \quad \text{F - 49}$$

Kita memerlukan medan dalam salutan gentian menurun dalam arah r dan menjadi bentuk $e^{-\gamma r}$. Jika kita takrifkan $\kappa = j\gamma$, kita boleh memilih sebuah fungsi Hankel terubahsuai daripada bentuk pertama, untuk menggambarkan perlakuan pelemahan medan dalam salutan untuk nilai r yang besar.

$$E_z = CH_v^{(1)}(j\gamma r)e^{jv\phi} \quad \text{F - 50}$$

$$H_z = DH_v^{(1)}(j\gamma r)e^{jv\phi} \quad \text{F - 51}$$

Menggunakan persamaan F - 48 dan F - 50 persamaan syarat sempadan untuk E_z ialah,

$$J_v(\kappa a)A - H_v^{(1)}(j\gamma a)C = 0 \quad \text{F - 52}$$

Untuk medan – medan melintang di dalam teras dan salutan daripada pemanduan pemanduan gelombang, salah satunya menggunakan persamaan F - 23 sehingga F - 26. Untuk menjelaskan E_r salah satunya mesti menerbitkan medan – medan melintang yang berkenaan dengan r dan ϕ .

$$E_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left[A\beta\kappa J'_v(\kappa r)e^{jv\phi} + B(jv)(\omega\mu)\frac{1}{r}J_v(\kappa r)e^{jv\phi} \right] \quad \text{F - 53}$$

$$E_\phi = \frac{-j}{\kappa^2} \left[j\beta\frac{v}{r}AJ_v(\kappa r) - \kappa\omega\mu BJ'_v(\kappa r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 54}$$

$$H_r = \frac{-j}{\kappa^2} \left[-j\omega\varepsilon_1\frac{v}{r}AJ_v(\kappa r) + \kappa\beta BJ'_v(\kappa r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 55}$$

dan

$$H_\phi = \frac{-j}{\kappa^2} \left[\kappa\omega\varepsilon_1 AJ'_v(\kappa r) + j\beta\frac{v}{r}BJ_v(\kappa r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 56}$$

dimana

$$\kappa^2 = k_1^2 - \beta^2 \quad \text{F - 57}$$

$$k_1^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_1 \quad \text{F - 58}$$

Medan – medan melintang dalam salutan gentian dapat dijelaskan dalam gaya yang sama melalui terbitan persamaan F – 23 dan F – 26.

$$E_r = \frac{-j}{\gamma^2} \left[\beta \gamma C H_v^{(1)'}(j\gamma r) + \omega \mu_0 \frac{v}{r} D H_v^{(1)}(j\gamma r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 59}$$

$$E_\phi = \frac{-j}{\gamma^2} \left[\beta \frac{v}{r} C H_v^{(1)'}(j\gamma r) - \gamma \omega \mu_0 D H_v^{(1)'}(j\gamma r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 60}$$

$$H_r = \frac{-j}{\gamma^2} \left[-\omega \varepsilon_2 \frac{v}{r} C H_v^{(1)}(j\gamma r) + \gamma \beta D H_v^{(1)'}(j\gamma r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 61}$$

$$H_\phi = \frac{-j}{\gamma^2} \left[\gamma \omega \varepsilon_2 \frac{v}{r} C H_v^{(1)'}(j\gamma r) + \beta \frac{v}{r} D H_v^{(1)}(j\gamma r) \right] e^{jv\phi} \quad \text{F - 62}$$

dimana

$$\frac{\partial H_v^{(1)}(j\gamma r)}{\partial (j\gamma r)} = H_v^{(1)'}(j\gamma r) \quad \text{F - 63}$$

$$\gamma^2 = \beta^2 - k_2^2 \quad \text{F - 64}$$

$$k_2^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_2 \quad \text{F - 65}$$

Dengan mengganti $r = a$ kedalam hasil persamaan F – 54 dan F – 60 untuk E_ϕ .

$$\begin{aligned} \left(\frac{\beta}{\kappa^2} \frac{v}{a} \right) J_v(\kappa a) A + j \frac{\omega \mu_0}{\kappa} J_v'(\kappa a) B \\ + \left(\frac{\beta}{\gamma^2} \frac{v}{a} \right) H_v^{(1)}(j\gamma a) C - \frac{\omega \mu_0}{\gamma} H_v^{(1)'}(j\gamma a) D = 0 \end{aligned} \quad \text{F - 66}$$

Dari persamaan F – 49 dan F – 51 persamaan syarat sempadan untuk H_z ialah

$$J_v(\kappa a)B - H_v^{(1)}(j\gamma a)D = 0 \quad \text{F – 67}$$

Pada akhirnya menggunakan persamaan F – 56 dan F – 62 menghasilkan persamaan syarat sempadan untuk H_ϕ ialah

$$\begin{aligned} \left(\frac{-j\omega\varepsilon_1}{\kappa}\right)J'_v(\kappa a)A + \frac{\beta}{\kappa^2}\frac{v}{a}J_v(\kappa a)B \\ + \left(\frac{\omega\varepsilon_2}{\gamma}\right)H_v^{(1)'}(j\gamma a)C + \left(\frac{\beta}{\gamma^2}\frac{v}{a}\right)H_v^{(1)}(j\gamma a)D = 0 \end{aligned} \quad \text{F – 68}$$

Persamaan F – 52 , F – 66 , F – 67 dan F – 68 membentuk satu set persamaan serentak yang mempunyai penyelesaian nontrivial sebagai syarat penentu sistim untuk menghapuskan empat persamaan tersebut, maka

$$\begin{vmatrix} J_v(\kappa a) & 0 & -H_v^{(1)}(j\gamma a) & 0 \\ \frac{\beta}{\kappa^2}\frac{v}{a}J_v(\kappa a) & j\frac{\omega\mu_0}{\kappa}J'_v(\kappa a) & \left(\frac{\beta}{\gamma^2}\frac{v}{a}\right)H_v^{(1)}(j\gamma a) & -\frac{\omega\mu_0}{\gamma}H_v^{(1)'}(j\gamma a) \\ 0 & J_v(\kappa a) & 0 & -H_v^{(1)}(j\gamma a) \\ \left(\frac{-j\omega\varepsilon_1}{\kappa}\right)J'_v(\kappa a) & \left(\frac{\beta}{\kappa^2}\frac{v}{a}\right)J_v(\kappa a) & \left(\frac{\omega\varepsilon_2}{\gamma}\right)H_v^{(1)'}(j\gamma a) & \left(\frac{\beta}{\gamma^2}\frac{v}{a}\right)H_v^{(1)}(j\gamma a) \end{vmatrix} = 0 \quad \text{F – 69}$$

Penentu pengembangan persamaan ini menyebabkan apa yang dikenali sebagai “nilai eigen” atau persamaan pencirian pandu gelombang. Persamaan ini mentakrifkan mod – mod dalam pemanduan dan menghasilkan nilai – nilai yang dibenarkan daripada gabungan β , κ , dan γ dengan setiap mod.

Sistim penentuan F – 69 dikembangkan dan menghasilkan persamaan pencirian untuk gentian optik indeks – bertingkat iaitu

$$\left[\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \frac{a\gamma^2 J'_v(\kappa a)}{\kappa J_v(\kappa a)} + j\gamma a \frac{H_v^{(1)'}(j\gamma a)}{H_v^{(1)}(j\gamma a)} \right] \left[\frac{a\gamma^2 J'_v(\kappa a)}{\kappa J_v(\kappa a)} + j\gamma a \frac{H_v^{(1)'}(j\gamma a)}{H_v^{(1)}(j\gamma a)} \right]$$

$$= \left[v \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \frac{\beta k_2}{\kappa^2} \right]^2 \quad \text{F - 70}$$

Walaupun secara matematik lebih rumit, persamaan konsep sama dengan persamaan pencirian diterbitkan untuk pandu gelombang keping dielektrik. Pada bahagian lain, persamaan pencirian F – 70 akan dianalisa untuk menentukan jenis mod sedia ada dalam gentian optik. Pekali – pekali dalam persamaan F – 52, F – 66, F – 67 dan F – 68 dapat dituliskan sehingga A merupakan pekali yang tidak diketahui. Sebagai contoh persamaan F – 52 dan F – 67 berkaitan satu sama lainnya dengan pekali A dan C dan B dan D.

$$C = \frac{J_v(\kappa a)}{H_v^{(1)}(j\gamma a)} B \quad \text{F - 71}$$

$$D = \frac{J_v(\kappa a)}{H_v^{(1)}(j\gamma a)} B \quad \text{F - 72}$$

Pekali – pekali A dan B berkait satu sama lainnya melalui persamaan F – 66 dan F – 68 menggunakan persamaan F – 71, F – 72 dan F – 68. Penyelesaian untuk B dalam bahagian A menghasilkan

$$B = \frac{j a \kappa \gamma [\varepsilon_1 \gamma] J'_v(\kappa a) H_v^{(1)}(j\gamma a) + j \varepsilon_2 \kappa J_v(\kappa a) H_v^{(1)'}(j\gamma a)}{v \omega (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \mu_0 \beta J_v(\kappa a) H_v^{(1)}(j\gamma a)} A \quad \text{F - 73}$$

Jika persamaan F – 66 telah digunakan dan bukannya persamaan F – 34 menghasilkan hubungkait antara B dan A menjadi,

$$B = jv \frac{\omega (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \beta J_v(\kappa a) H_v^{(1)}(j\gamma a)}{\kappa \gamma a [\gamma J'_v(\kappa a) H_v^{(1)}(j\gamma a) + j \kappa J_v(\kappa a) H_v^{(1)'}(j\gamma a)]} A \quad \text{F - 74}$$

Persamaan F – 73 dan F – 74 akan digunakan pada bahagian lampiran F. 4 ketika kita menentukan mod yang boleh merambat pada gentian optik indeks bertingkat.

F. 4 PENCIRIAN MODE PADA GENTIAN OPTIK INDEKS BERTINGKAT

Secara am, tatarajah medan yang dibenarkan atau mod – mod yang sedia ada dalam sebuah gentian optik indeks bertingkat mempunyai enam komponen. Untuk kewujudan mod gentian bulat hybrid serta mod TE dan TM yang kita perhatikan dalam pandu gelombang dielektrik keping. Mod – mod hybrid akan dilambangkan sebagai mod HE dan mod EH dan mempunyai komponen medan elektrik membujur dan medan magnetik.

Dari segi analogi cahaya untuk gentian optik indeks bertingkat, mod hybrid sesuai dengan perambatan sinar condong dan mod TE dan mod TM untuk sinar garis bujur. Untuk kes khas $\nu = 0$, sinar garis bujur hanya merambat dalam pemanduan. Untuk kes sisi tangan – kanan daripada persamaan pencirian F – 70 sama dengan kosong dan salah satunya menerangkan dua bentuk persamaan pencirian yang ditakrifkan sebagai mod TE dan TM. Persamaan – persamaan dituliskan dibawah ini,

$$\left[\frac{a\gamma^2 J'_0(\kappa a)}{\kappa J_0(\kappa a)} + j\gamma a \frac{H_0^{(1)'}(j\gamma a)}{H_0^{(1)}(j\gamma a)} \right] = 0 \quad \text{F – 75}$$

$$\left[\frac{\varepsilon_1 a\gamma^2 J'_0(\kappa a)}{\varepsilon_2 \kappa J_0(\kappa a)} + j\gamma a \frac{H_v^{(1)'}(j\gamma a)}{H_v^{(1)}(j\gamma a)} \right] = 0 \quad \text{F – 76}$$

Untuk memahami bahawa persamaan F – 75 mentakrifkan persamaan untuk mod TE dan persamaan F – 76 mentakrifkan persamaan untuk mod TM, diambilkkan semula bahawa untuk mod TE $E_z = 0$ dan mod TM $H_z = 0$. Memandangkan

$$E_z = A J_\nu(\kappa r) e^{j\nu\phi} \quad \text{F – 77}$$

dan

$$H_z = B J_\nu(\kappa r) e^{j\nu\phi} \quad \text{F – 78}$$

E_z sama dengan kosong ketika $A = 0$, $H_z = 0$ ketika $B = 0$. Merujuk pada persamaan F – 73 ketika $\nu \rightarrow 0$, $B \rightarrow \infty$ melainkan $A = 0$. Persamaan F – 75 ialah persamaan

pencirian untuk pemanduan ketika $v \rightarrow 0$ dan $A = 0$. Begitu juga F – 75 mentakrifkan persamaan untuk mod TE. Menggunakan persamaan F – 74 ketika $v = 0$, $B = 0$, maka persamaan F – 76 ialah persamaan pencirian pemanduan gelombang untuk mod TM ketika $v = 0$, $B = 0$.

Persamaan F – 75 dan F – 76 dapat dituliskan dalam cara yang singkat untuk setiap fungsi silinder

$$Z'_0 = -Z_1 \quad \text{F – 79}$$

Kemudian persamaan F – 75 dan F – 76 menjadi, Takrifan persamaan untuk mod TE,

$$\frac{\gamma J_1(\kappa a)}{\kappa J_0(\kappa a)} + j \frac{H_1^{(1)}(j\gamma a)}{H_0^{(1)}(j\gamma a)} = 0 \quad \text{F – 80}$$

dan takrifan persamaan untuk mod TM,

$$\frac{\varepsilon_1 \gamma J_1(\kappa a)}{\varepsilon_2 \kappa J_0(\kappa a)} + j \frac{H_1^{(1)}(j\gamma a)}{H_0^{(1)}(j\gamma a)} = 0 \quad \text{F – 81}$$

Sebagai tambahan persamaan pencirian F – 70 mentakrifkan mod perambatan pada sebuah gentian optik indeks bertingkat. Penyelesaian untuk persamaan ini sangat rumit dan secara normal dijelaskan secara numerik. Penyelesaian am untuk $v \neq 0$ mempunyai enam komponen medan dan menerangkan syarat – syarat perambatan untuk mod hibrid (HE, EH). Untuk kes khas daripada $v = 0$ boleh memperoleh dua bahagian persamaan pencirian F – 80 dan F – 81 yang menghuraikan syarat – syarat perambatan mode TE dan TM.

F.5 SYARAT – SYARAT MOD TERPENGKAL

Sebuah parameter penting untuk setiap mod perambatan gelombang ialah frekuensi pengkal gelombang. Sebuah mod pengkal ketika medan gelombang di dalam salutan terhenti dengan cepat dan terpisah daripada pemanduan gelombang, iaitu dimana

medan gelombang dalam salutan tidak terjadi pereputan. Nilai pereputan medan gelombang di dalam salutan ditentukan dengan nilai pemalar γ . Penghampiran asimptot daripada fungsi Hankel (H_v) terubahsuai hanya untuk nilai – nilai besar,

$$H_v^{(1)}(j\gamma r) = \sqrt{\frac{2}{\pi j\gamma r}} (e^{-j(\pi v/2 + \pi/4)}) e^{-\gamma r} \quad \text{F – 82}$$

Untuk nilai – nilai besar γ , medan gelombang sangat tertumpu di dalam dan mendekati teras gentian. Dengan penurunan nilai γ , medan ini mencapai lebih jauh keluar lapisan salutan. Pada akhirnya, untuk $\gamma = 0$, medan gelombang terpisah dari pemanduan. Frekuensi pada keadaan yang berlaku dikatakan sebagai frekuensi penggal. Pada pemenggalan

$$\gamma = 0 = \sqrt{\beta_c^2 - k_{2c}^2} \quad \text{F – 83}$$

atau

$$\beta_c^2 = k_{2c}^2 \quad \text{F – 84}$$

dimana

$$k_{2c}^2 = \omega_c^2 \mu_0 \epsilon_2 \quad \text{F – 85}$$

Pada teras pemanduan dalam keadaan terpenggal, kita mempunyai

$$\kappa_c^2 = k_{1c}^2 - \beta_c^2 \quad \text{F – 86}$$

$$k_{1c}^2 = \omega_c^2 \mu_0 \epsilon_1 \quad \text{F – 87}$$

Kita boleh menjelaskan sebuah ungkapan untuk frekuensi terpenggal daripada sebuah mod dengan cara menggantikan persamaan F – 84 kedalam F – 86

$$\kappa_c^2 = k_{1c}^2 - k_{2c}^2 = \omega_c^2 \mu_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2) \quad \text{F – 88}$$

Penyelesaian untuk ω_c daripada persamaan F – 88

$$\omega_c = \frac{\kappa_c}{\sqrt{\mu_0 (\epsilon_1 - \epsilon_2)}} \quad \text{F – 89}$$

Sebuah mod frekuensi terpenggal boleh menjadi kosong jika $\kappa_c = 0$. Satu dan hanya satu mod yang boleh wujud dalam gentian optik dengan $\omega_c = 0$. Mod ini ialah

mod hibrid HE_{11} yang wujud untuk seluruh frekuensi. Mod hibrid ini kemudian digunakan untuk reka bentuk dan operasi sebuah gentian optik mod tunggal. Untuk gentian optik mod tunggal mempunyai diameter teras yang sangat kecil dan perbezaan indeks bias antara teras dan salutan, parameter – parameter harus dipilih untuk memastikan bahawa seluruh mod – mod pemanduan bernilai dibawah frekuensi terpenggalnya. Sebelum mengembangkan persamaan reka bentuk untuk sebuah gentian single mod, pengembangan persamaan reka bentuk perlu dilakukan untuk keadaan terpenggal (dan penyelesaian untuk κ_c) untuk mod jenis yang berbeza yang wujud di dalam gentian optik indeks - bertingkat.

Mod TE dan Mod TM $v = 0$

Keadaan terpenggal untuk mod $TE_{0\mu}$ dan mod $TM_{0\mu}$ dijelaskan daripada punca persamaan F – 90 dibawah ini,

$$J_0(\kappa a) = 0 \quad \text{F – 90}$$

dimana nilai $\kappa_c a$ didapat daripada punca persamaan F – 90, yang ditunjukkan pada rajah 4.4. Frekuensi terpenggal yang sesuai untuk sebuah mod dihitung menggunakan nilai κ_c ini dalam persamaan F – 89.

Mod – Mod Hibrid

Mod $HE_{1\mu}$

Keadaan terpenggal daripada mod $HE_{1\mu}$ digambarkan dengan persamaan F – 91

$$\kappa_c a = x_{v\mu} \quad \text{untuk } v = 1, 2, 3, \dots \quad \text{F – 91}$$

dimana parameter $x_{v\mu}$ ialah punca persamaan μ th.

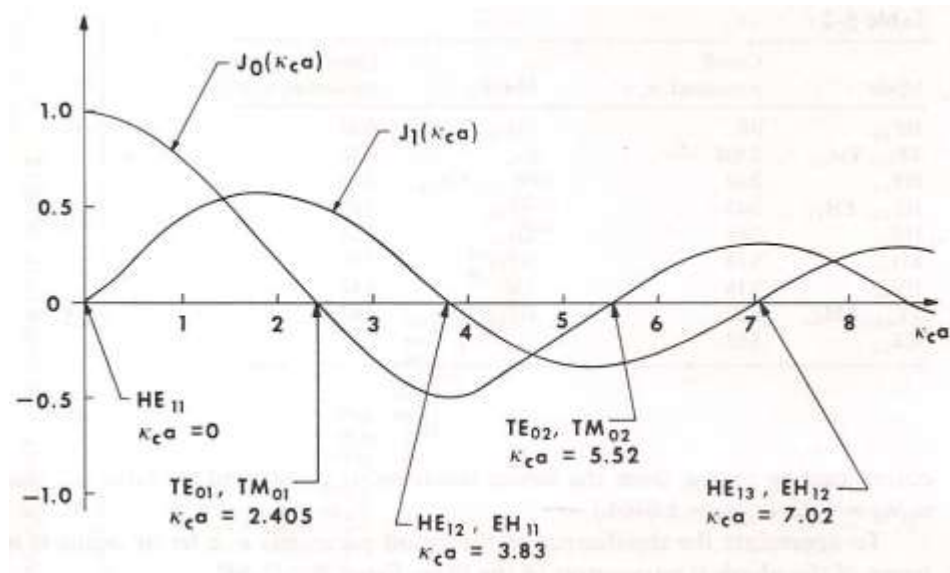
$$J_v(x_{v\mu}) = 0 \quad \text{F – 92}$$

seperti dibincangkan sebelumnya tentang asas atau kewujudan mod HE_{11} untuk seluruh frekuensi. Mod ini akan merambat ketika seluruh mod terpenggal. Persamaan yang menggambarkan keadaan terpenggal iaitu:

Mod HE₁₁

$$\kappa_c a = 0$$

F – 93



Rajah F – 4 Graf fungsi Bessel digunakan untuk mengirakan mod – mod keadaan terpenggal (Sumber : Cherin, 1983)

Mod EH_{vμ}

Persamaan keadaan terpenggal untuk mod $EH_{v\mu}$ ialah persamaan persamaan F – 92 tetapi dengan harus ditambah syarat $x_{v\mu} \neq 0$. Rajah 4. 4 menunjukkan contoh graf, bagaimana mengira keadaan terpenggal untuk mod $HE_{1\mu}$ dan $EH_{1\mu}$. Pada akhirnya mod $HE_{v\mu}$ mengikut persamaan keadaan terpenggal yang harus diselesaikan.

Mod HE_{vμ} untuk v = 2, 3, 4,...

$$\left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} + 1\right) J_{v-1}(\kappa_c a) = \frac{a\kappa_c}{v-1} J_v(\kappa_c a) \quad \text{F – 94}$$

Untuk mod hibrid, terdapat dua jenis mod untuk setiap nilai pengamiran $v > 1$. Mod – mod frekuensi terpenggal ditentukan dengan persamaan F – 92 yang merupakan reka bentuk $EH_{v\mu}$. Persamaan F – 94 menentukan frekuensi terpenggal daripada mod $HE_{v\mu}$. Kedua – dua mod $EH_{1\mu}$ dan $HE_{1(\mu+1)}$ mempunyai frekuensi terpenggal yang sama. Walau bagaimanapun juga kedua – dua mod tersebut tidak bersifat merosot diluar daripada frekuensi terpenggal kerana kedua – dua mod ini mempunyai pemalar perambatan gelombang yang berbeza.

Untuk $\nu = 0$, kita mendapatkan keadaan mod TE dan TM menjadi merosot, dimana keadaan terpenggal yang sama diberikan oleh persamaan F – 90. Salah satunya boleh mengirakan parameter terpenggal $\kappa_c a$ untuk jenis mod yang berbeza dimana mod ini telah sedia ada dalam sebuah gentian indeks bertingkat daripada persamaan F – 90 sampai dengan persamaan F – 94.

Jadual F.1 menyenaraikan pertama beberapa mod dengan turutan rendah dan nilai – nilai parameter terpenggal. Untuk mengira parameter terpenggal untuk mod $HE_{\nu\mu}$ (persamaan F – 94), sebuah pengetahuan diperlukan untuk membandingkan indeks bias teras dan indeks bias salutan.

Jadual F.1 Senarai beberapa nilai awal mod turutan-rendah dan nilai – nilai parameter terpenggal

Mod	Parameter terpenggal ($\kappa_c a$)	Mod	Parameter terpenggal ($\kappa_c a$)
HE_{11}	0.0	EH_{31}	6.38
TE_{01}, TM_{01}	2.405	HE_{51}	6.41
HE_{21}	2.42	HE_{13}, EH_{12}	7.02
HE_{12}, EH_{11}	3.83	HE_{32}	7.02
HE_{31}	3.86	EH_{41}	7.59
EH_{21}	5.14	HE_{61}	7.61
HE_{41}	5.16	EH_{22}	8.42
TE_{02}, TM_{02}	5.52	HE_{52}	8.43
HE_{22}	5.53		

Parameter – parameter untuk mod – mod lainnya dijelaskan secara langsung, untuk sebuah turutan - ν dan hubungan akar μ , daripada fungsi Bessel. Hubungan tersebut diasumsikan pada jadual F.1 bahawa $n_1/n_2 = 1.02$ ($\epsilon_1/\epsilon_2 = 1.0404$).

Untuk kefahaman pendekatan parameter terpenggal $\kappa_c a$, dilakukan takrifan parameter terpenggal pada bahagian parameter fizikal gentian. Dari persamaan F-88

$$\kappa_c a = \omega_c \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \left(\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right) a \quad \text{F – 95}$$

dengan nota bahawa

$$\omega_c \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad \text{F – 96}$$

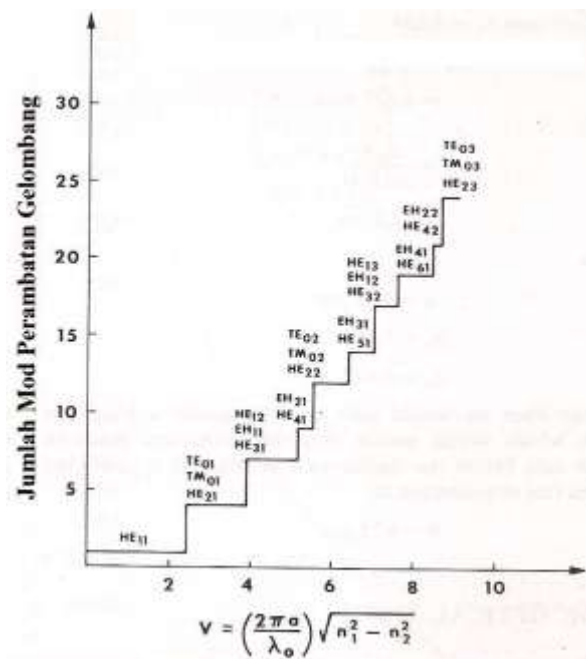
dapat diterangkan

$$V \equiv \kappa_c a \frac{2\pi}{\lambda_0} (\sqrt{n_1^2 - n_2^2}) \quad \text{F - 97}$$

Parameter terpenggal $\kappa_c a$ biasa disebut dengan nombor V daripada gentian. Catatan bahawa nombor V untuk gentian ialah analogi parameter R untuk pandu gelombang papak. Jumlah mod propagasi dalam gentian indeks bertingkat setanding dengan nombor V gentian tersebut. Jadual F. 2 menggambarkan bagaimana kenaikan a , n_1 , n_2 atau λ_0 yang memberikan keberkesanan jumlah mod perambatan pada gentian optik.

Jadual F.2 Pengaruh – pengaruh jumlah mod perambatan

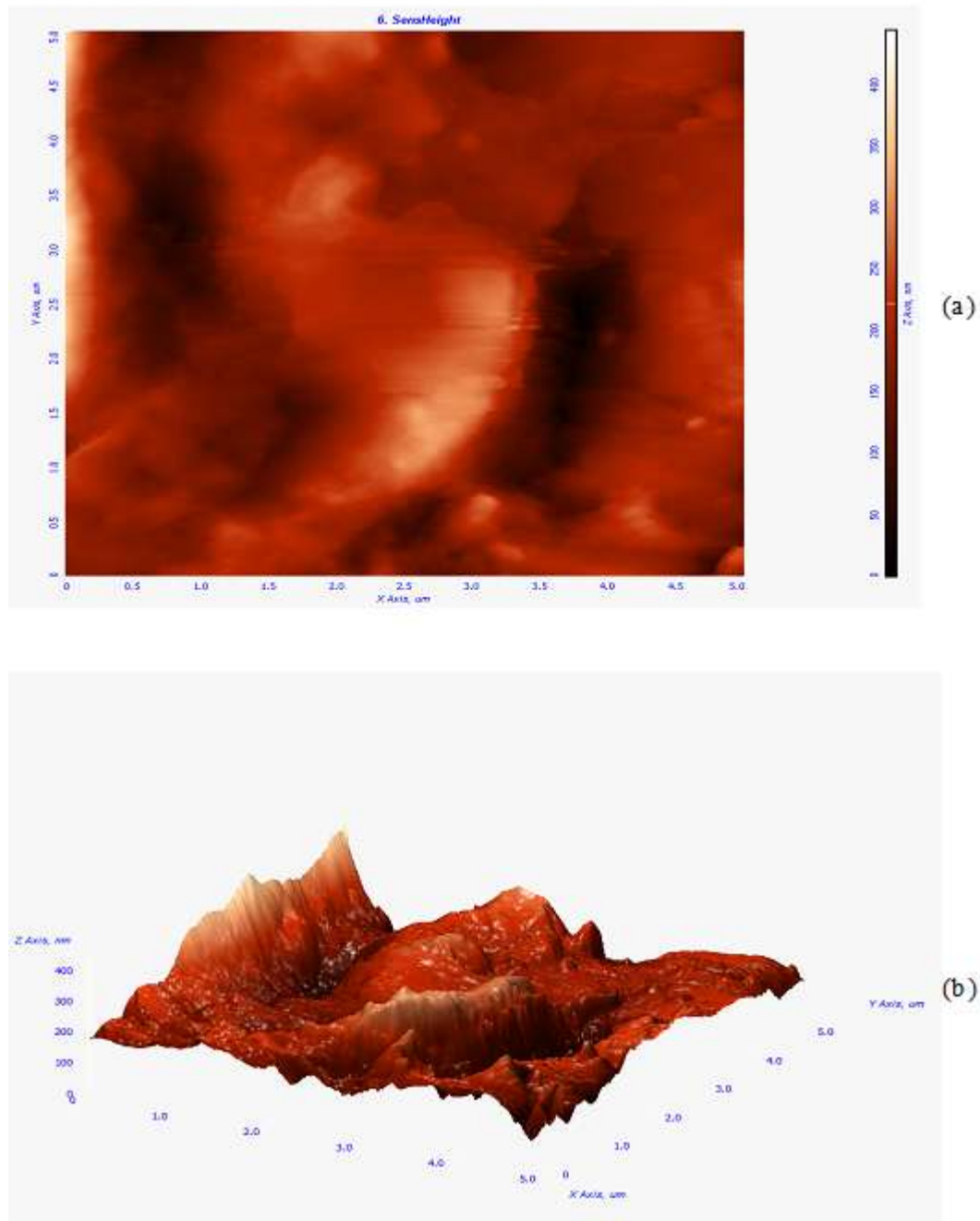
Parameter kenaikan fizikal	Jumlah mod – mod propagasi
Jejari teras (a)	Menaik
Indeks bias teras (n_1)	Menaik
Indeks bias salutan (n_2)	Menurun
Panjang gelombang sumber cahaya (λ_0)	Menurun



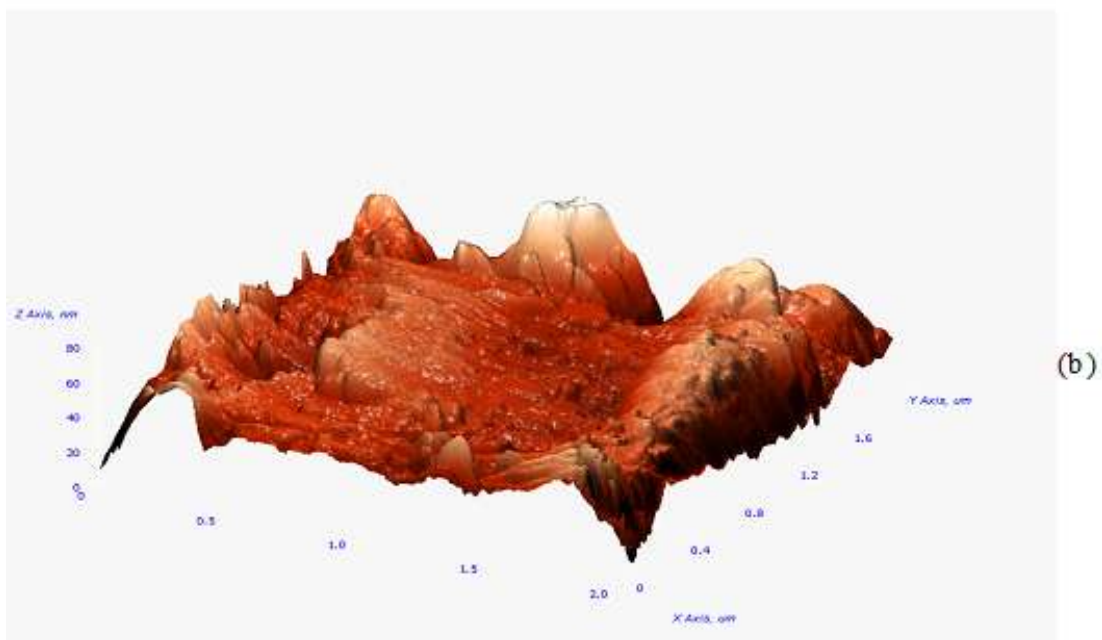
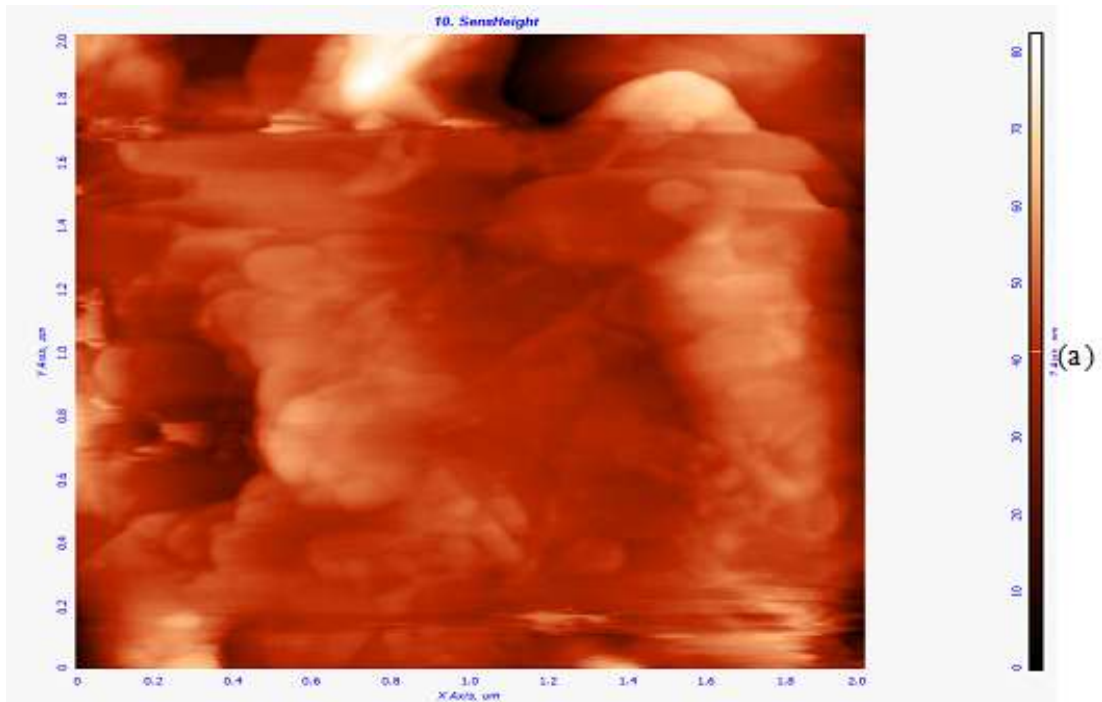
Rajah F – 5 Graf bilangan mod rambatan terhadap bilangan V gentian (Sumber : Cherin, 1983)

Dengan menggunakan Jadual F.1 dapat membentuk sebuah graf jumlah mod perambatan dalam gentian indeks bertingkat sebagai sebuah fungsi daripada nombor V gentian. Dengan catatan bahawa untuk $V < 2.405$ nilai ini memungkinkan untuk reka bentuk sebuah gentian optik mod tunggal yang hanya disokong oleh mod HE_{11} .

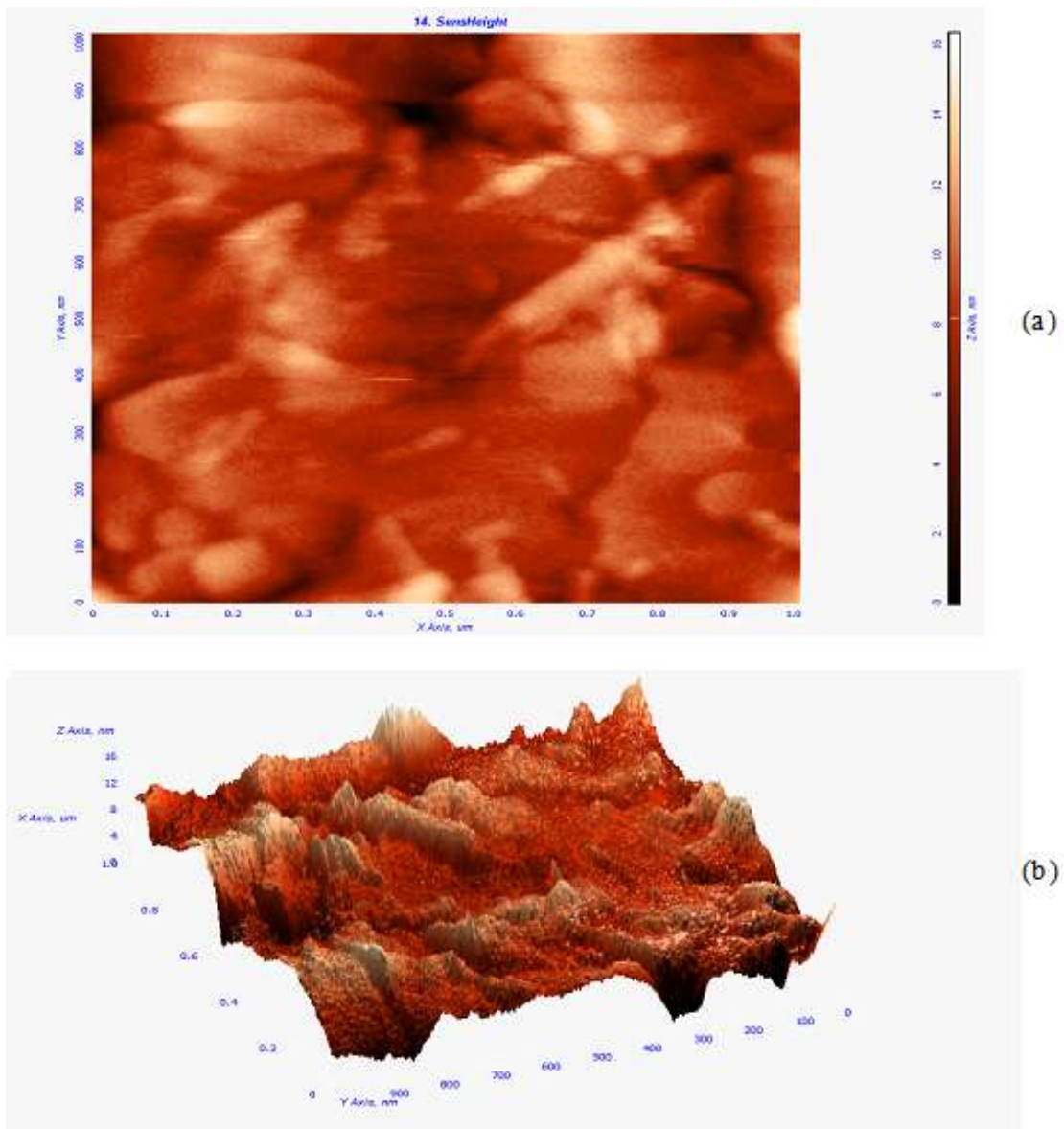
LAMPIRAN G

HASIL SAMPEL ZnO
MIKROSKOP DAYA ATOMG. 1. HASIL PENGUKURAN JULUR BERASAS JARAK HUJUNG DAN
SAMPEL

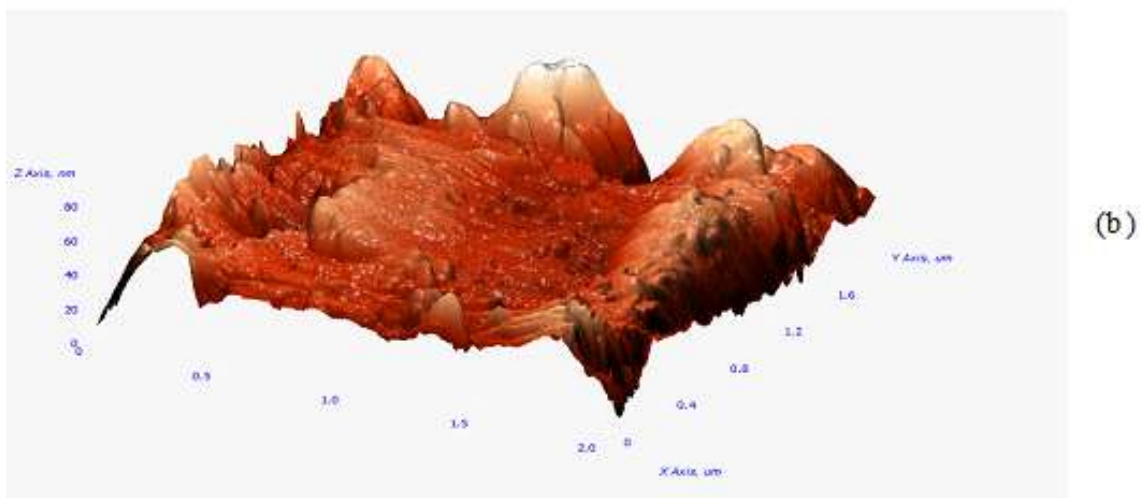
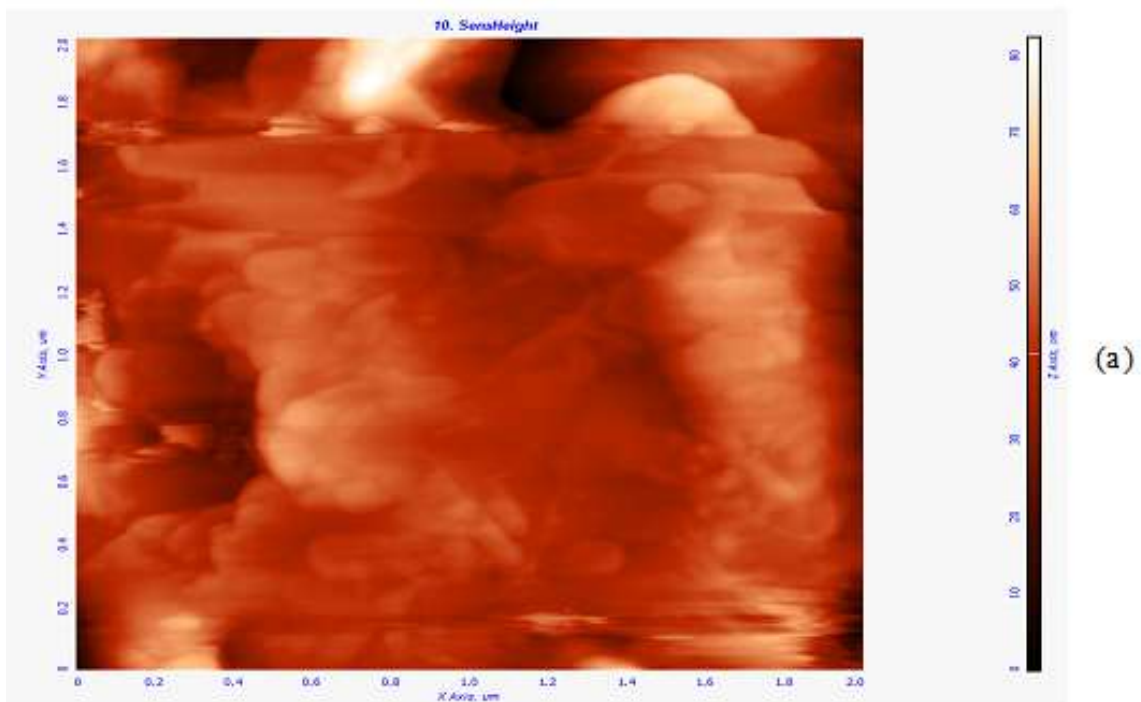
Rajah G – 1 Bentuk sampel ZnO dengan luas 5 μm x 5 μm x 443.1 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D.



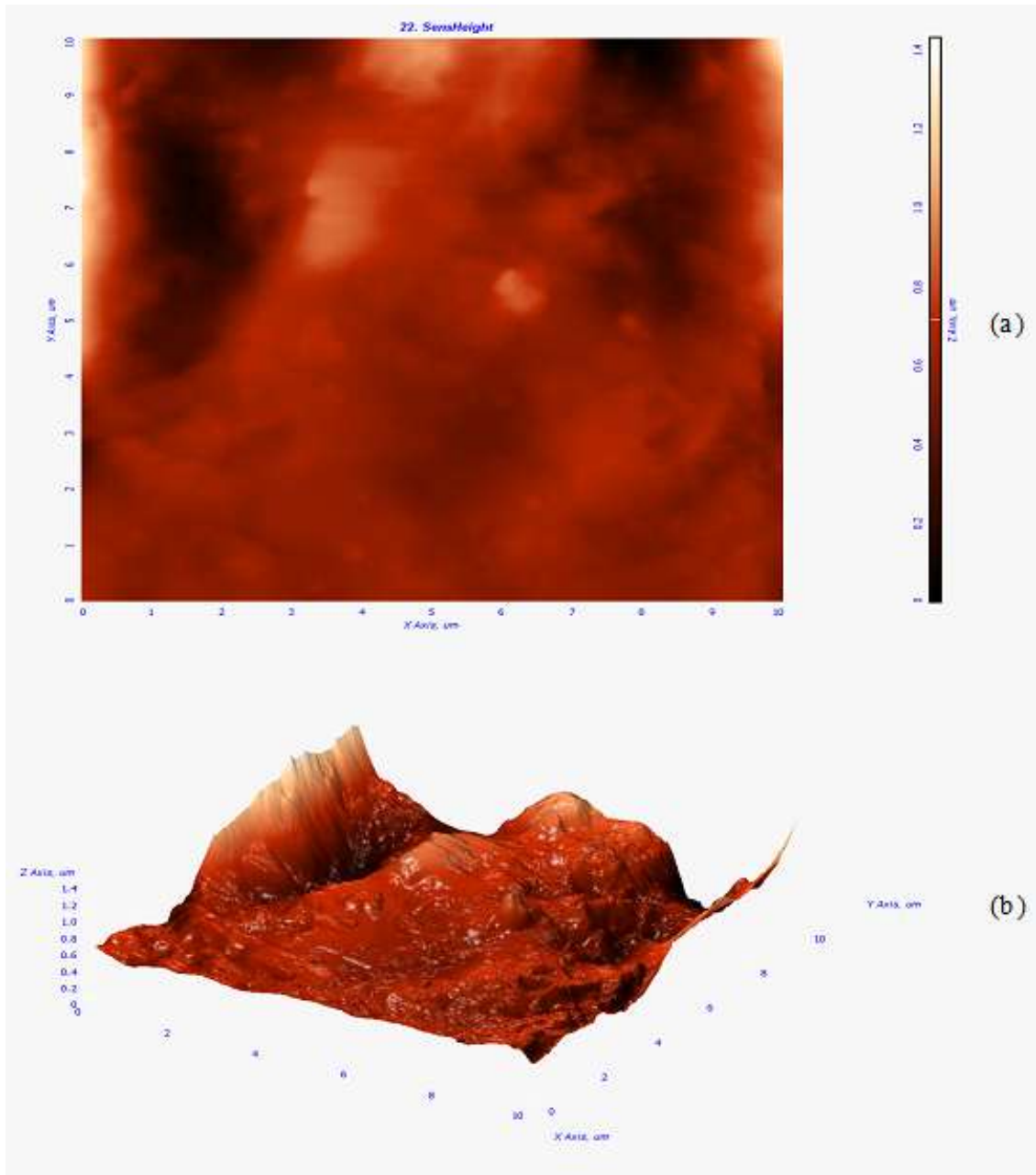
Rajah G – 2 Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 um x 2 um x 82.1 nm; (a). Hasil imejuntuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



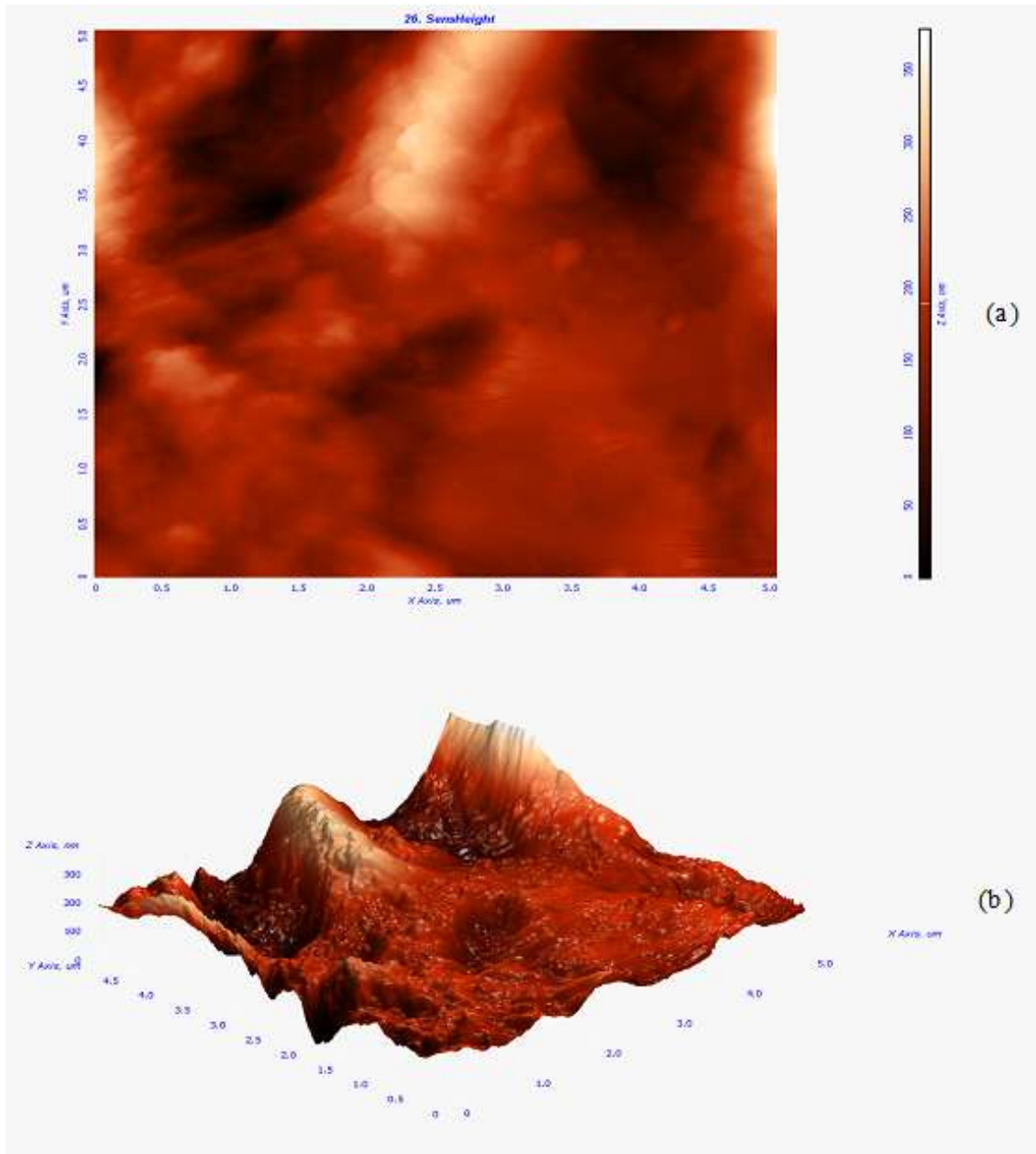
Rajah G – 3 Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 16.31 nm;(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



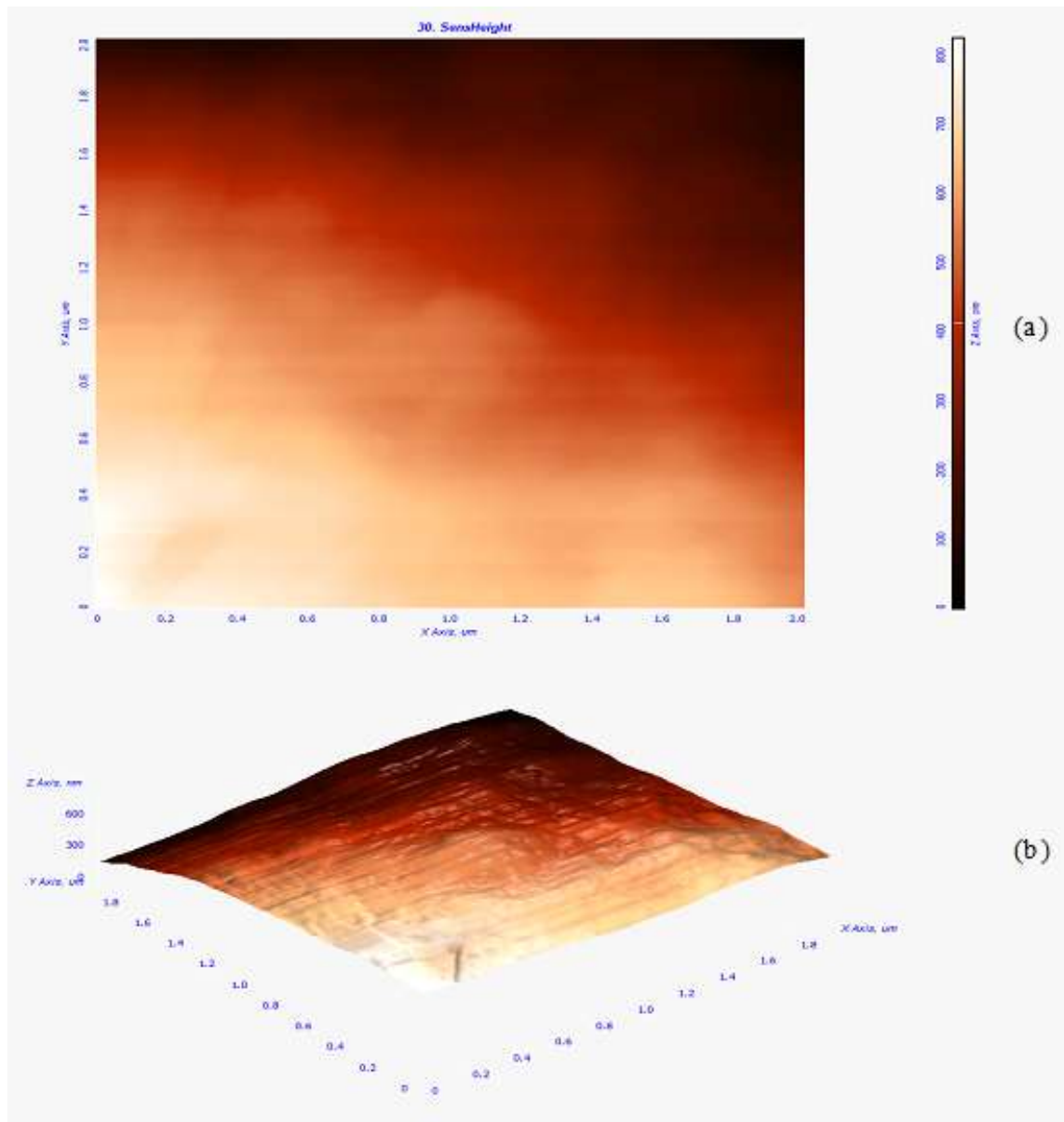
Rajah G – 4 Bentuk sampel ZnO dengan luas 50 um x 50 um x 16.35 um; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



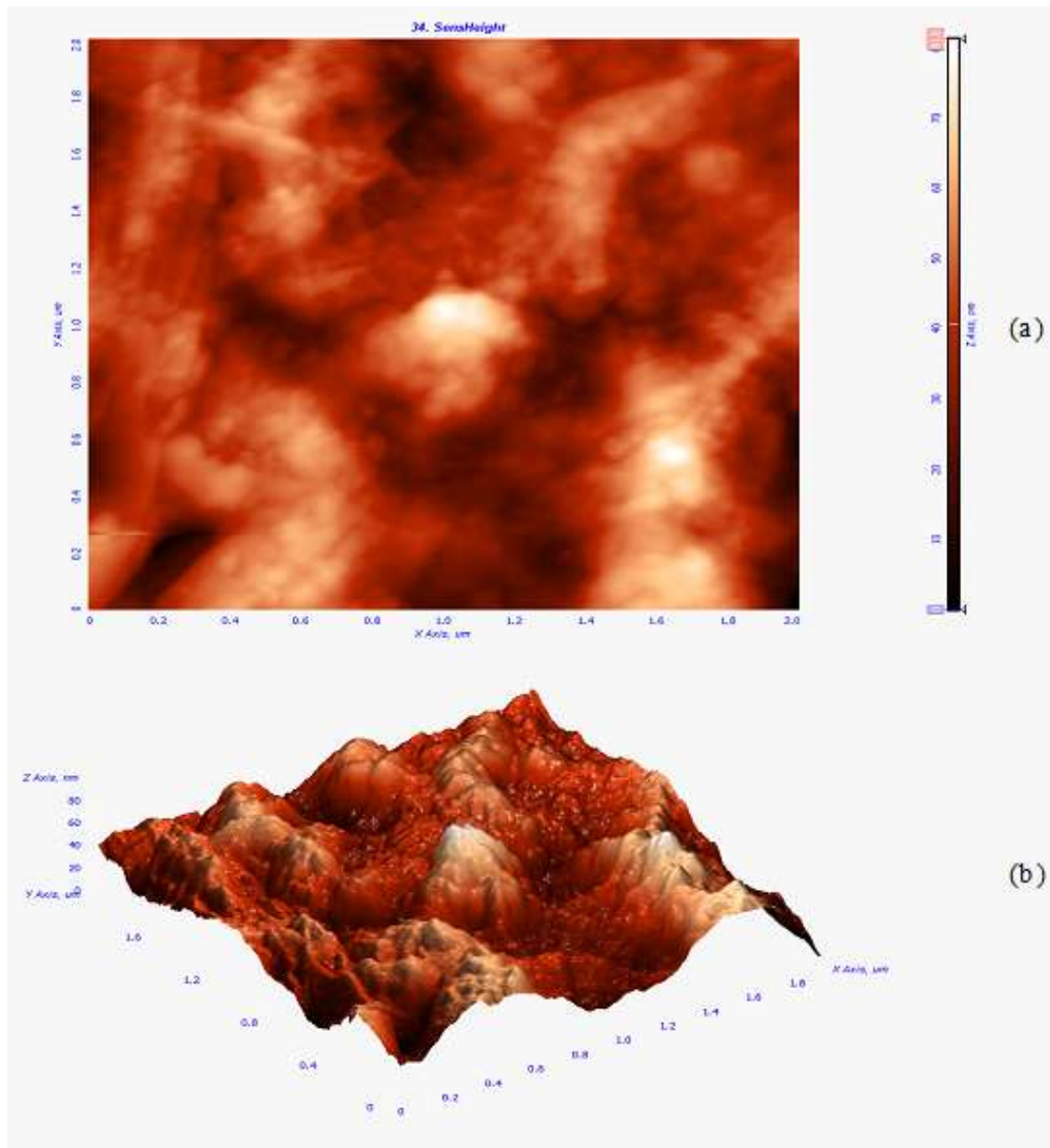
Rajah G – 5 Bentuk sampel ZnO dengan luas 10 um x 10 um x 1.4 um; (a).Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



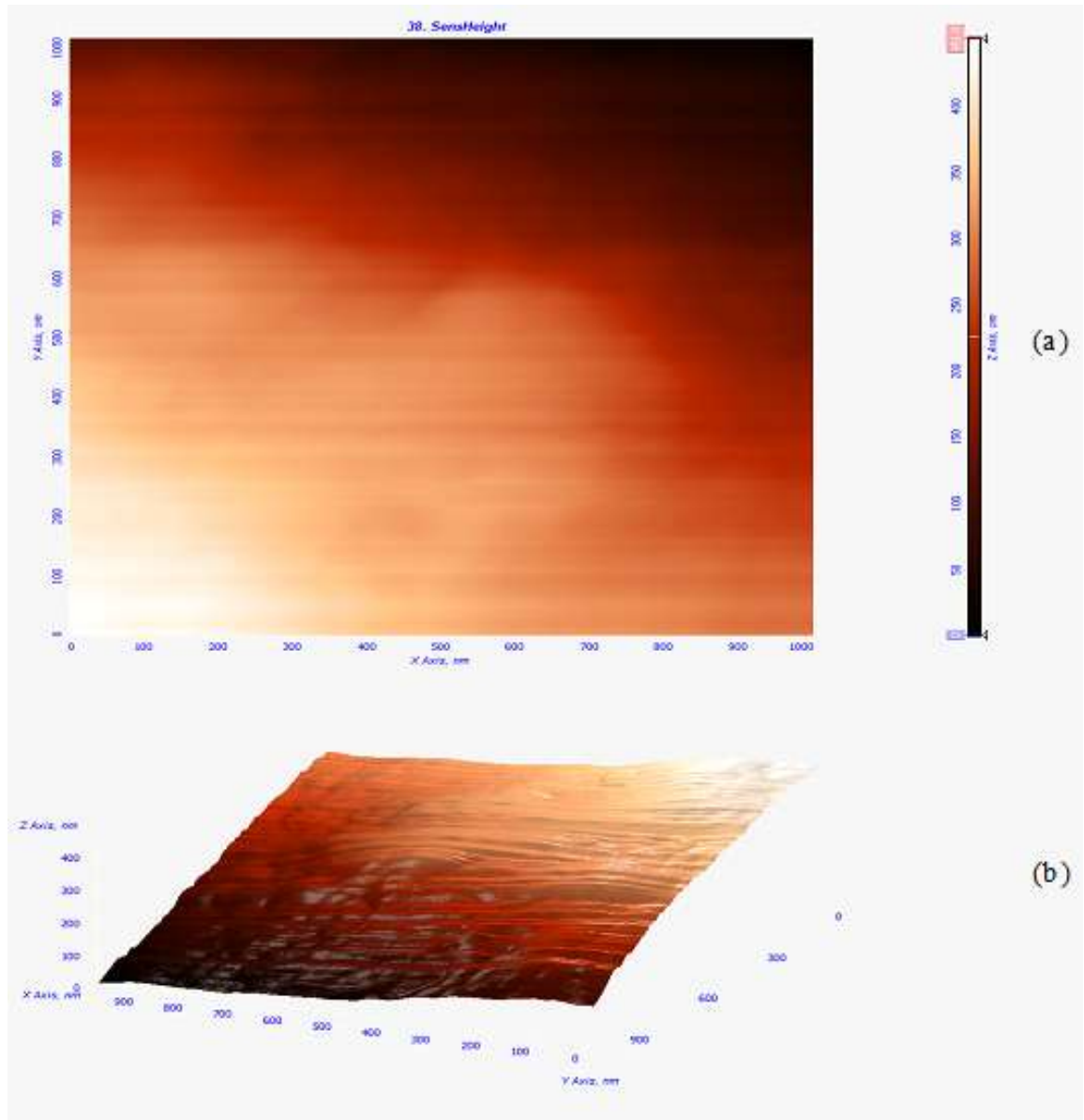
Rajah G – 6 Bentuk sampel ZnO dengan luas 5 um x 5 um x 376.8 nm;(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



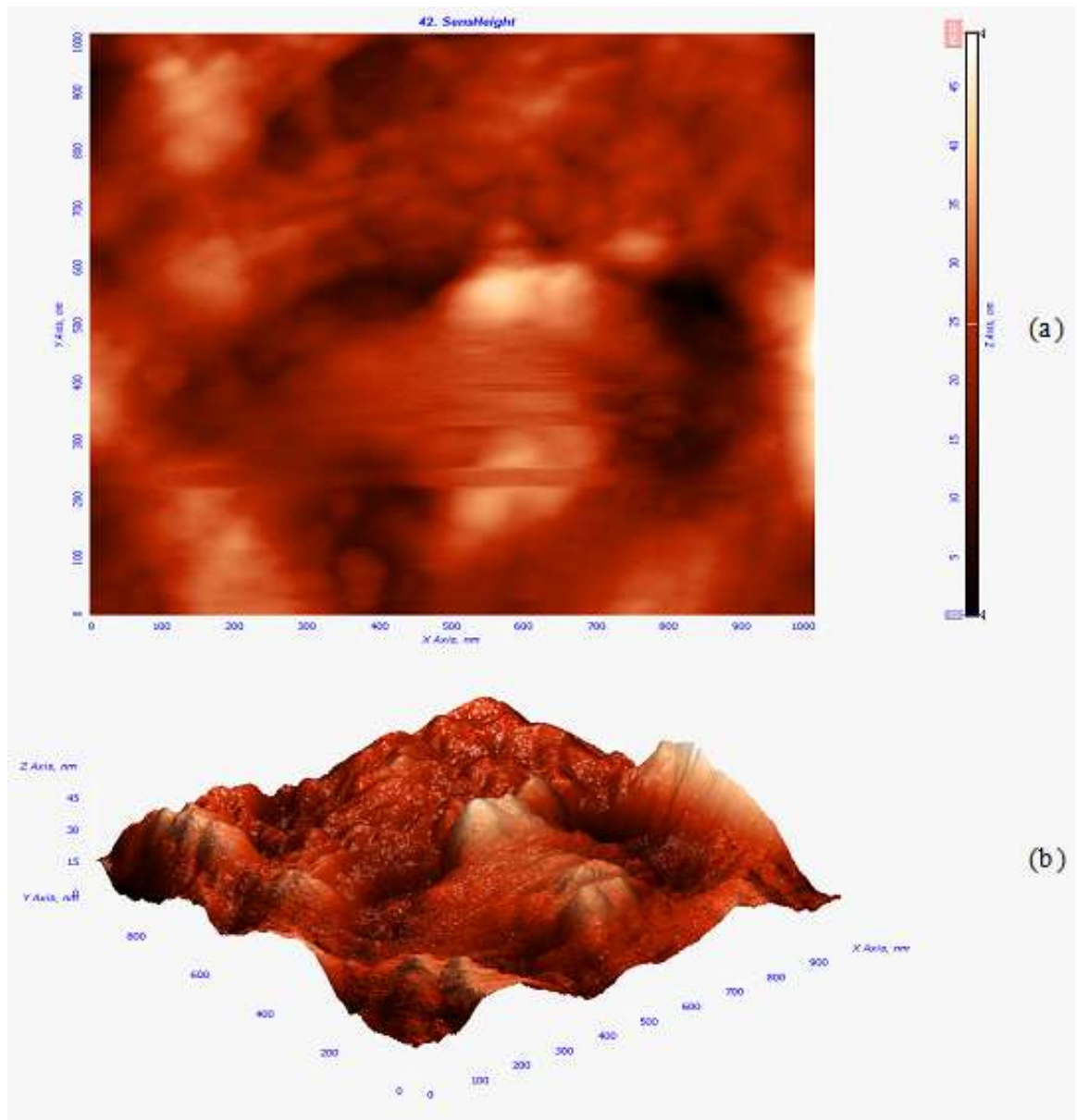
Rajah G – 7 Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 μm x 2 μm x 822 nm; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D.



Rajah G – 8 Bentuk sampel ZnO dengan luas 2 um x 2 um x 81.0 nm;(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D

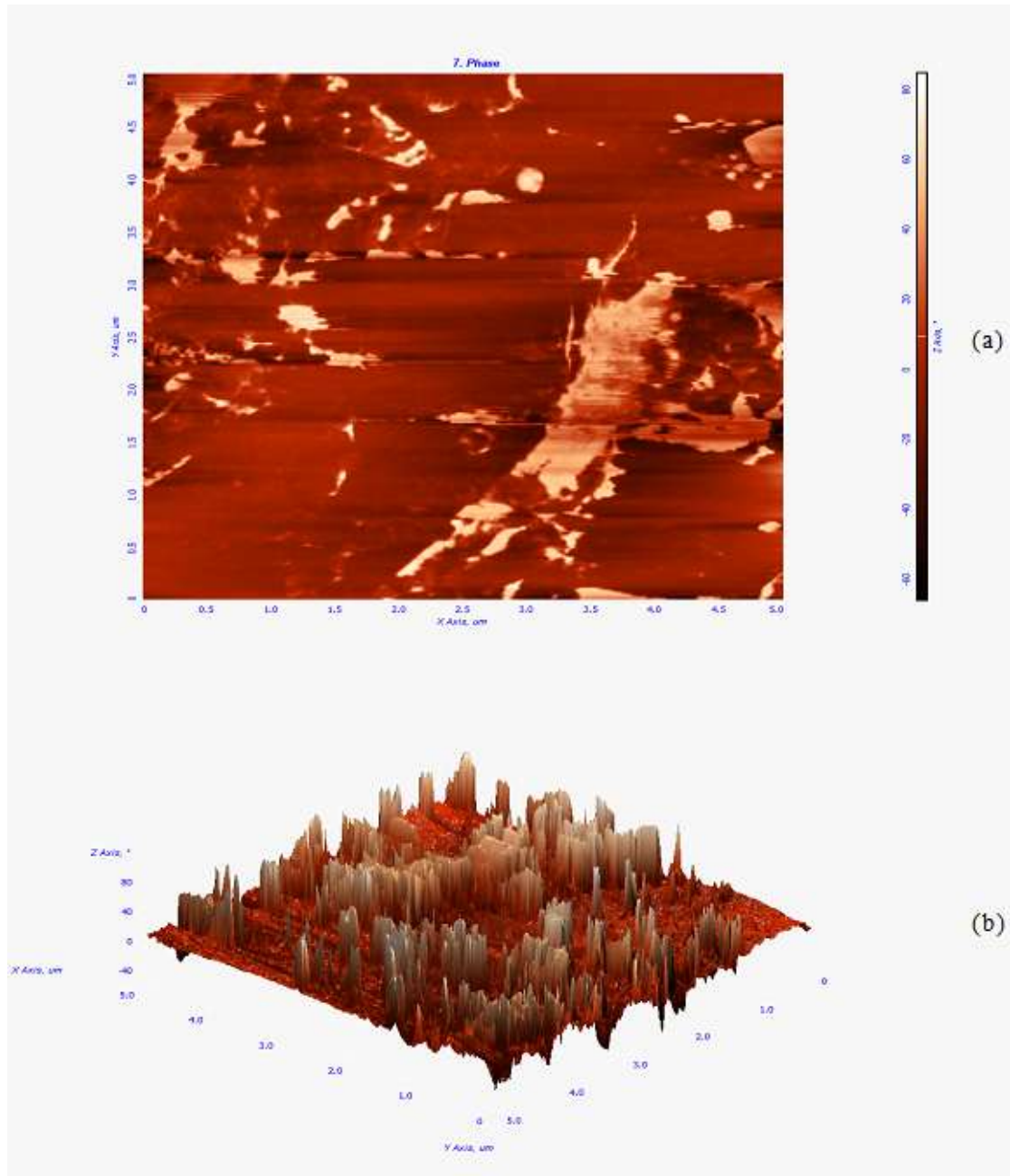


Rajah G – 9 Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 451 nm;(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D.

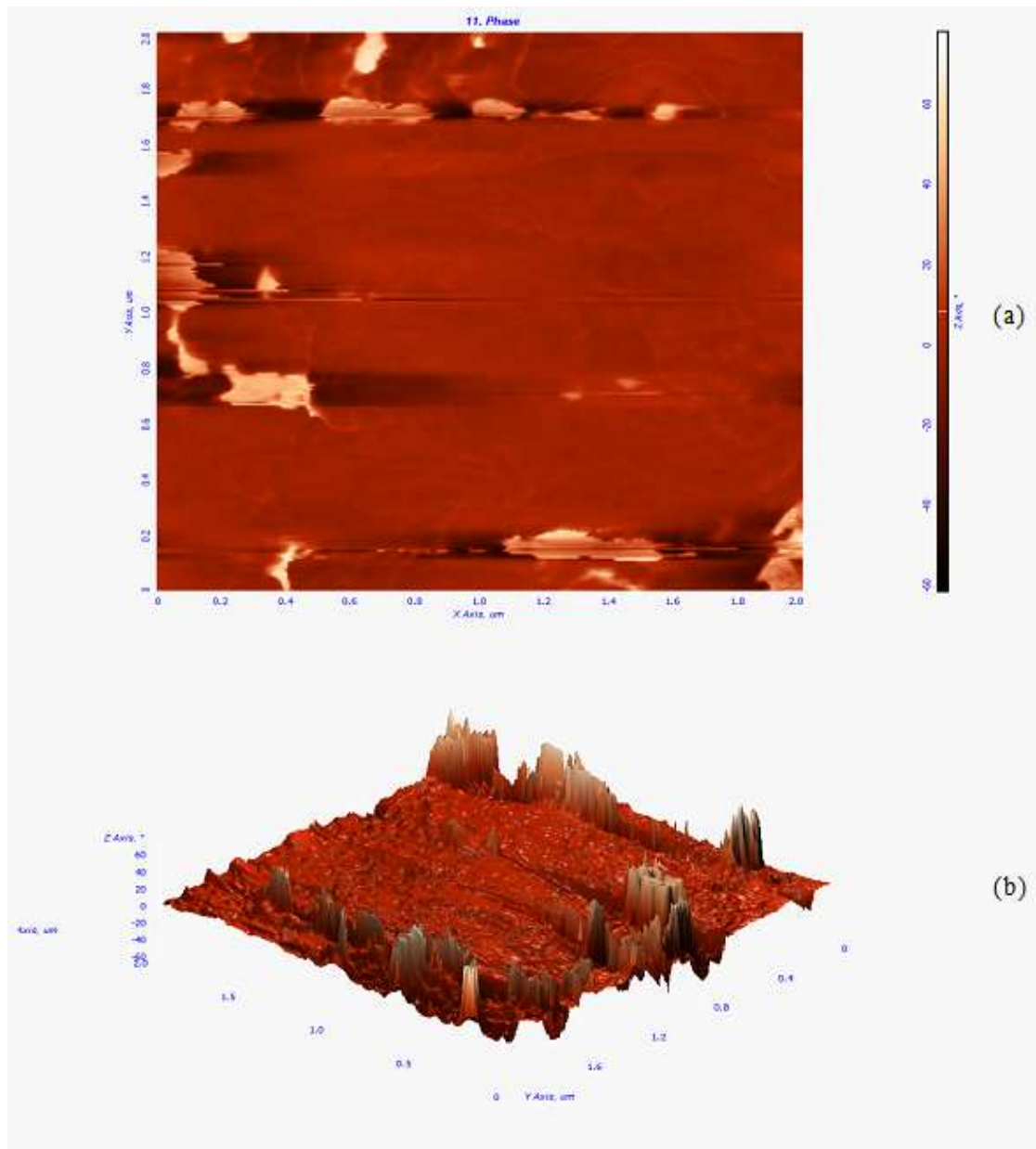


Rajah G-10 Bentuk sampel ZnO dengan luas 1 μm x 1 μm x 49.49 nm;(a).Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D

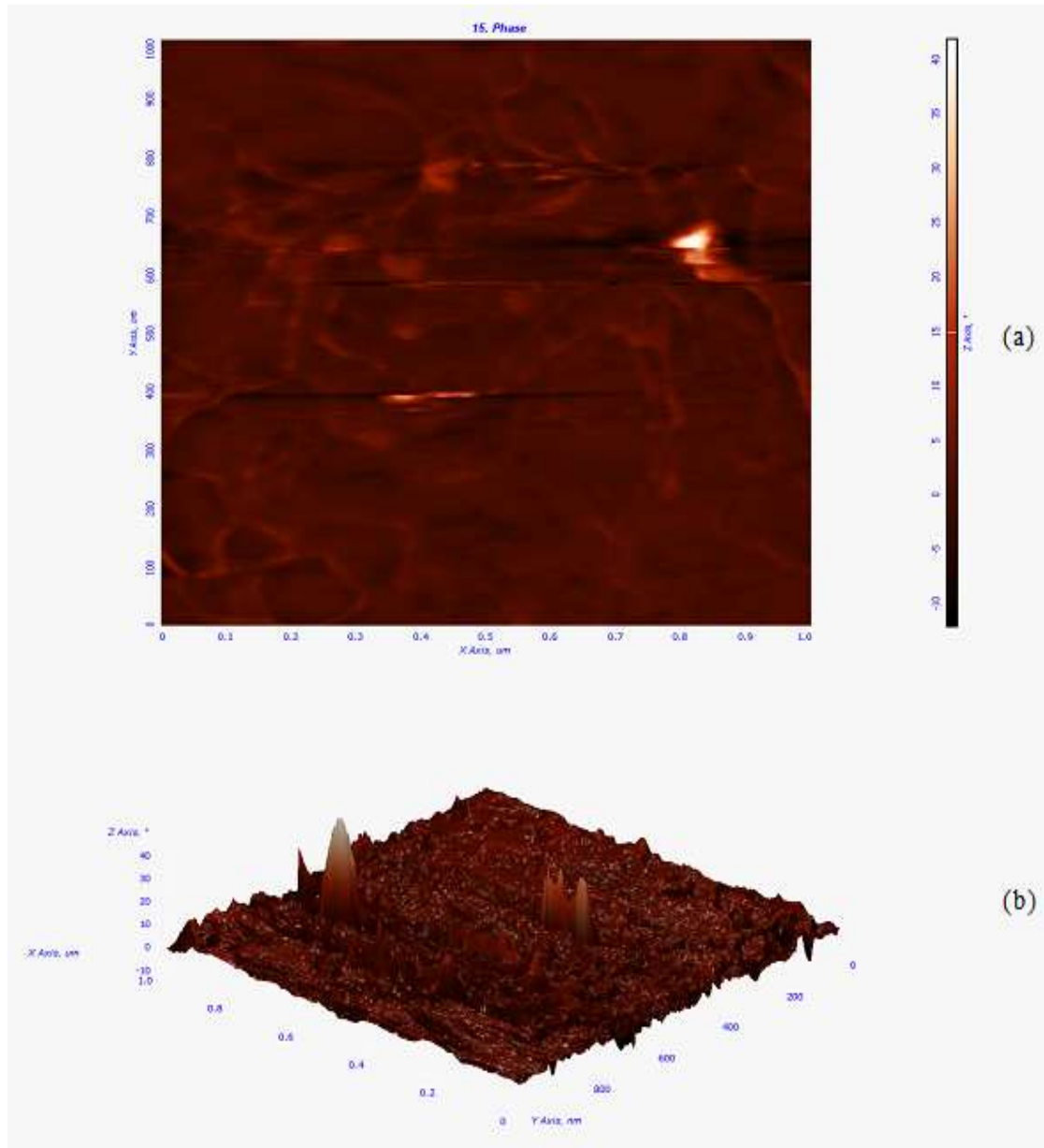
G. 2. HASIL PENGUKURAN JULUR BERASAS FASA



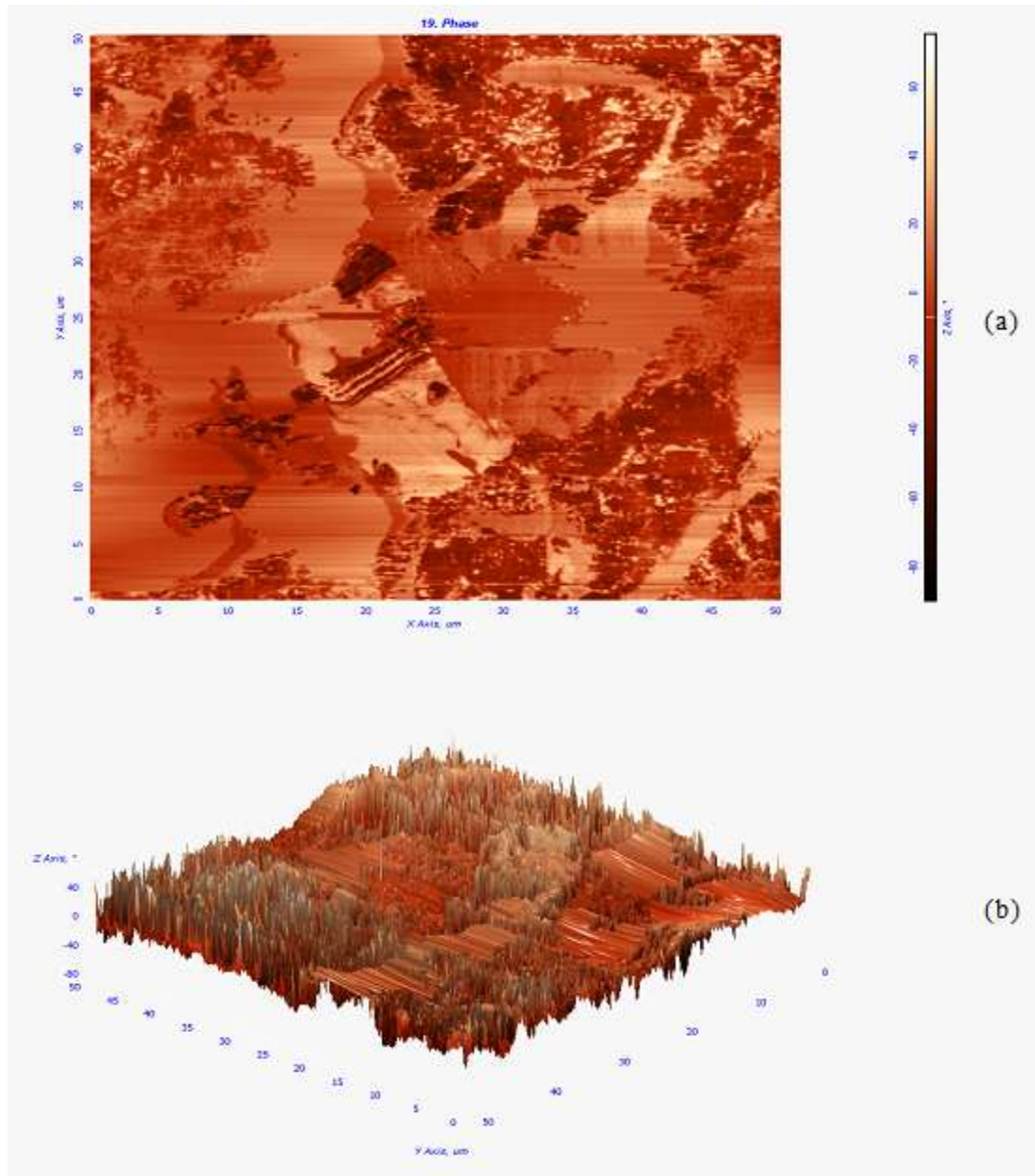
Rajah G – 11 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 5 um x 5 um x $(-65.8^0 > x^0 > 84.3^0)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



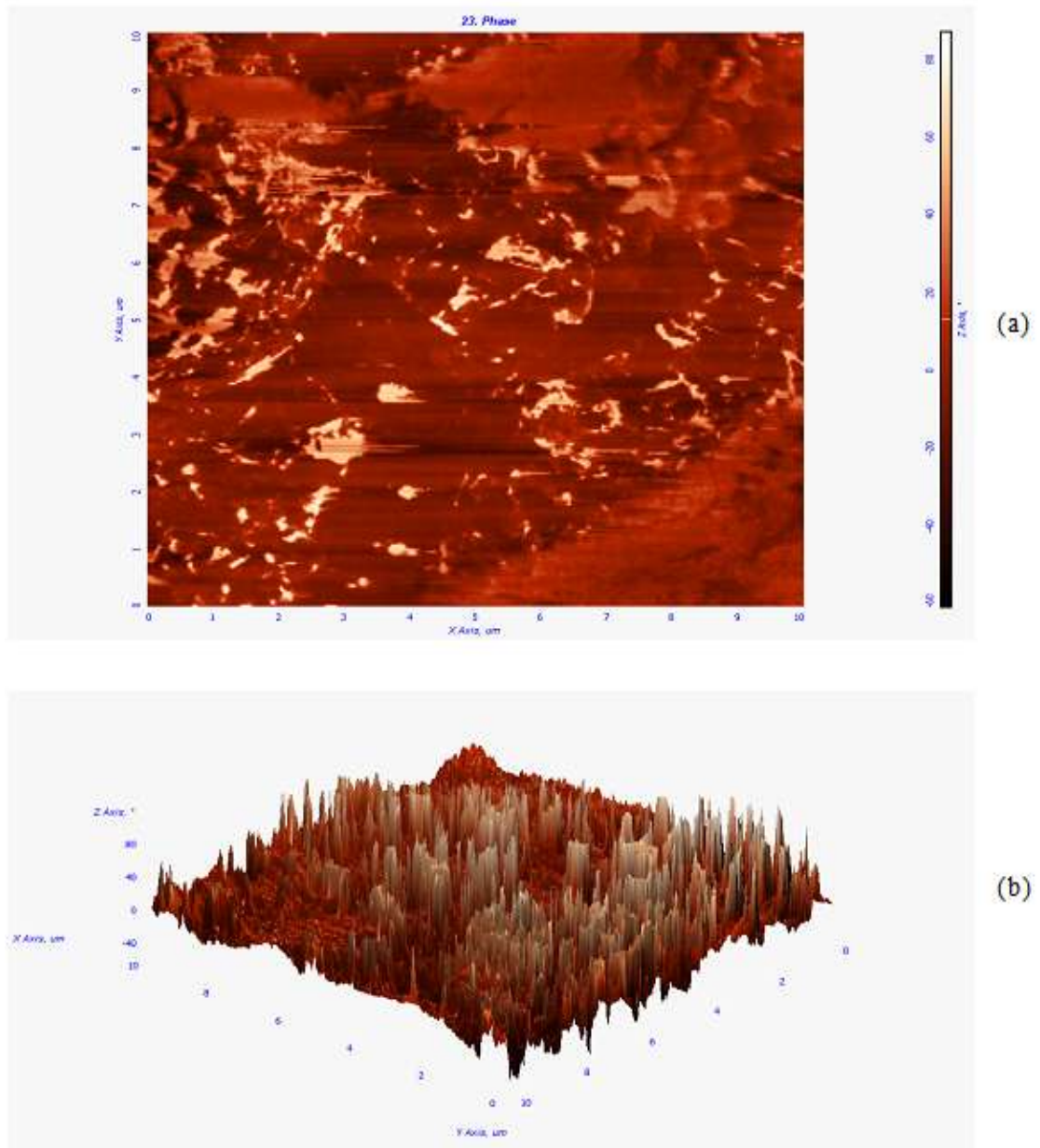
Rajah G – 12 Bentuk sampel pengukuran ZnO berfasa dengan luas 2 um x 2 um x (-61.20° < ϕ < 77.60°); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



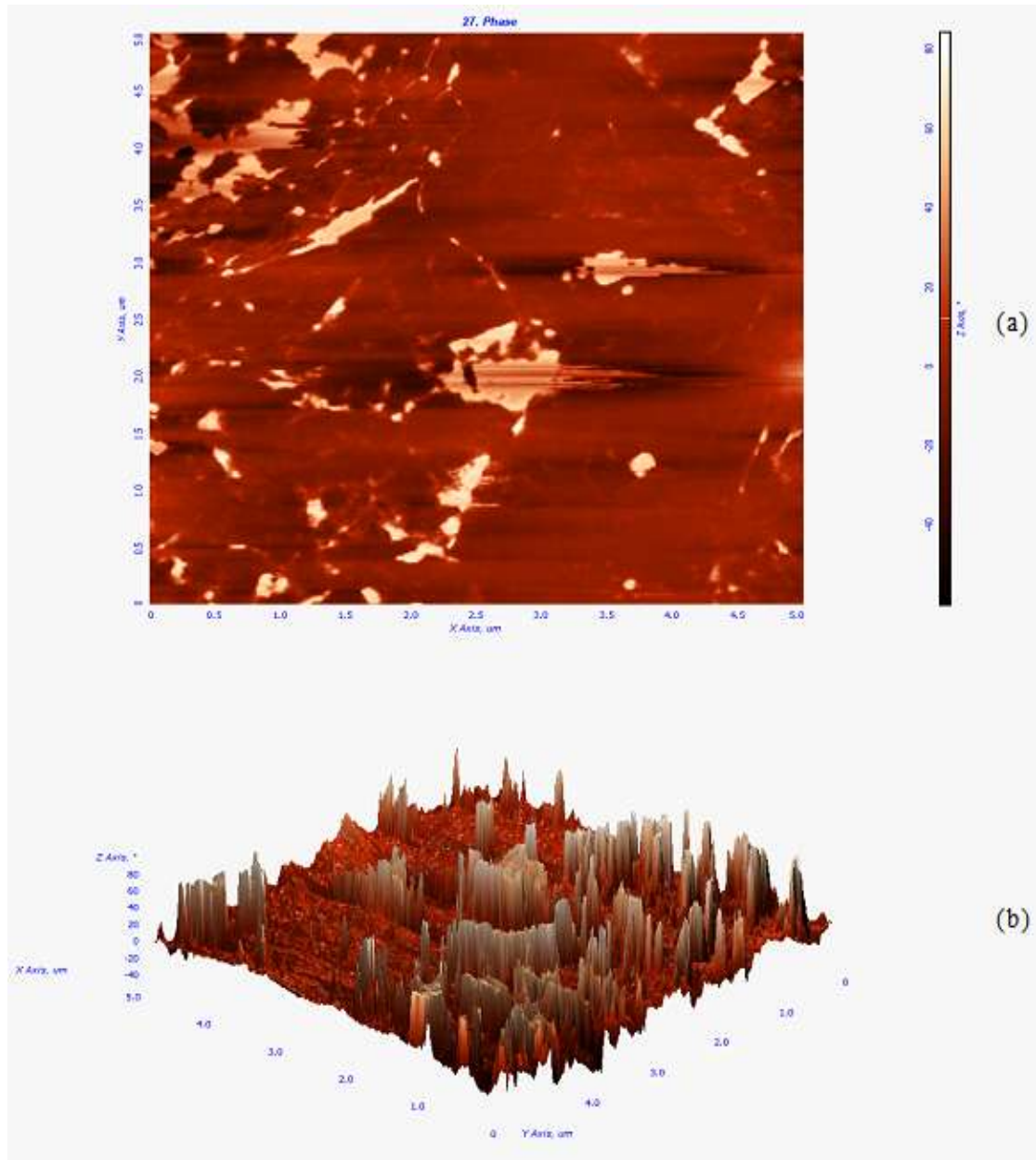
Rajah G – 13 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 μm x 1 μm x $(-12.09^\circ > \phi > 41.70^\circ)$;(a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



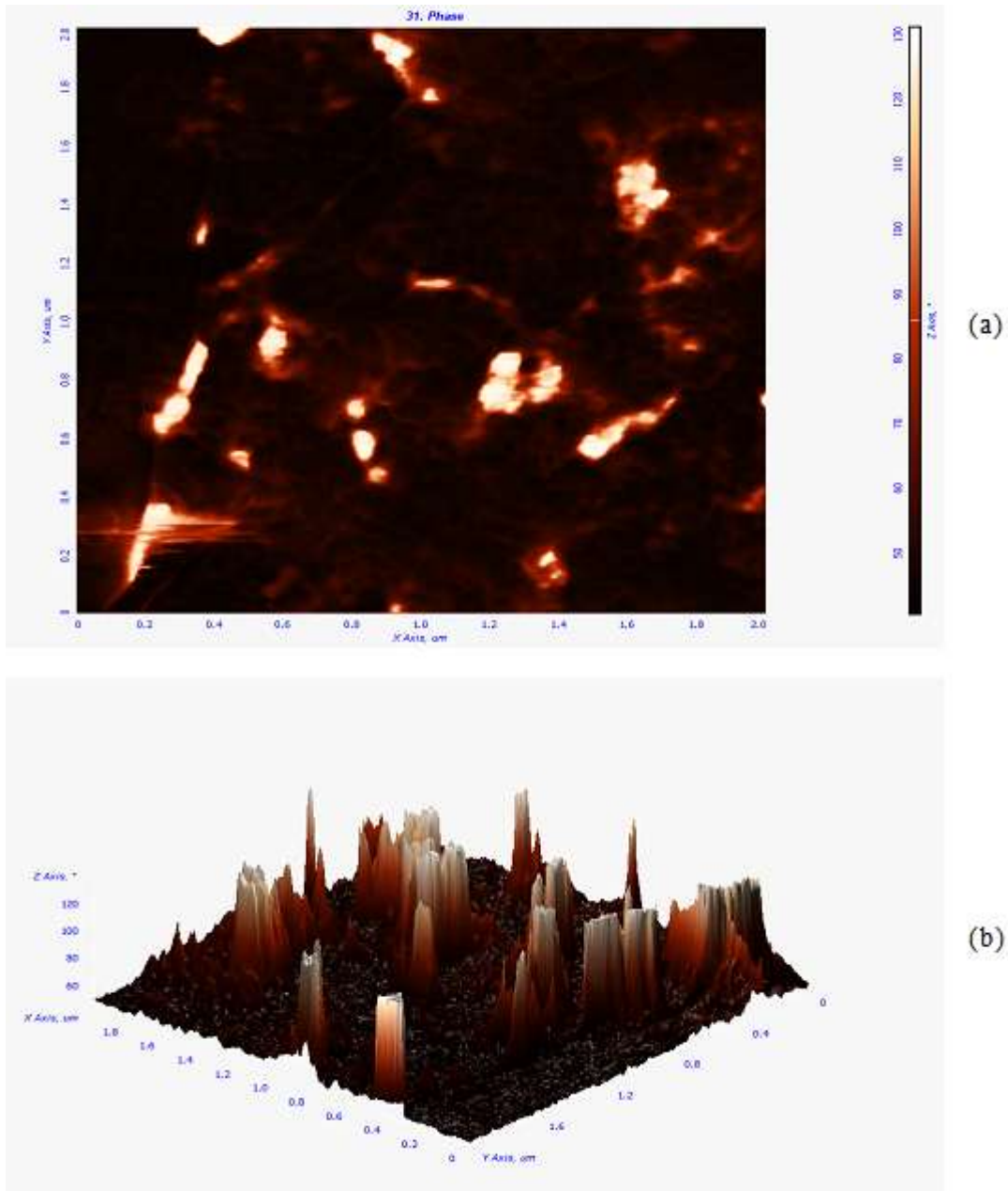
Rajah G – 14 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 50 um x 50 um x $(-89.8^0 > x^0 > 74.9^0)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



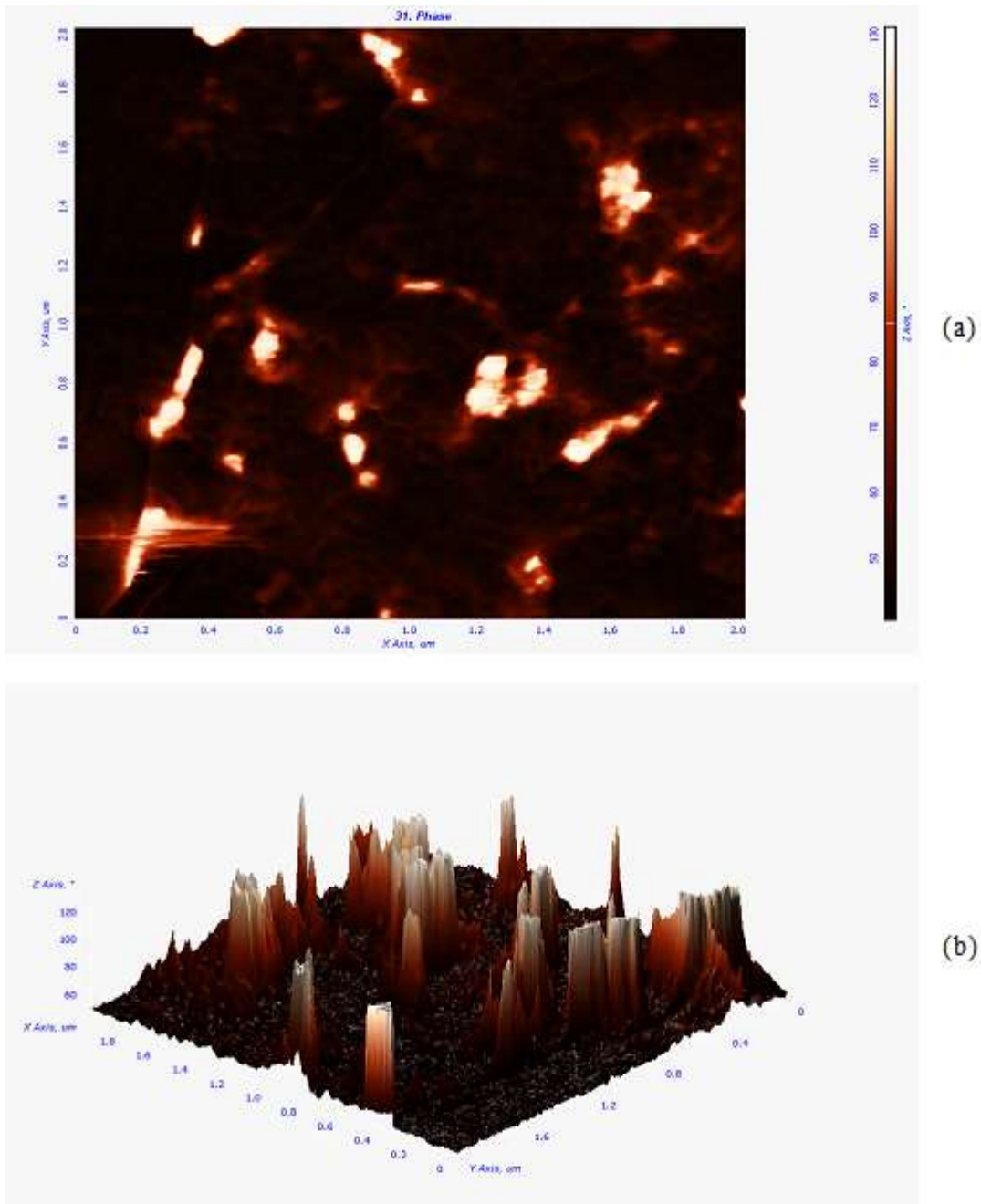
Rajah G – 15 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 10 μm x 10 μm x $(-60.6^0 > x^0 > 86.5^0)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



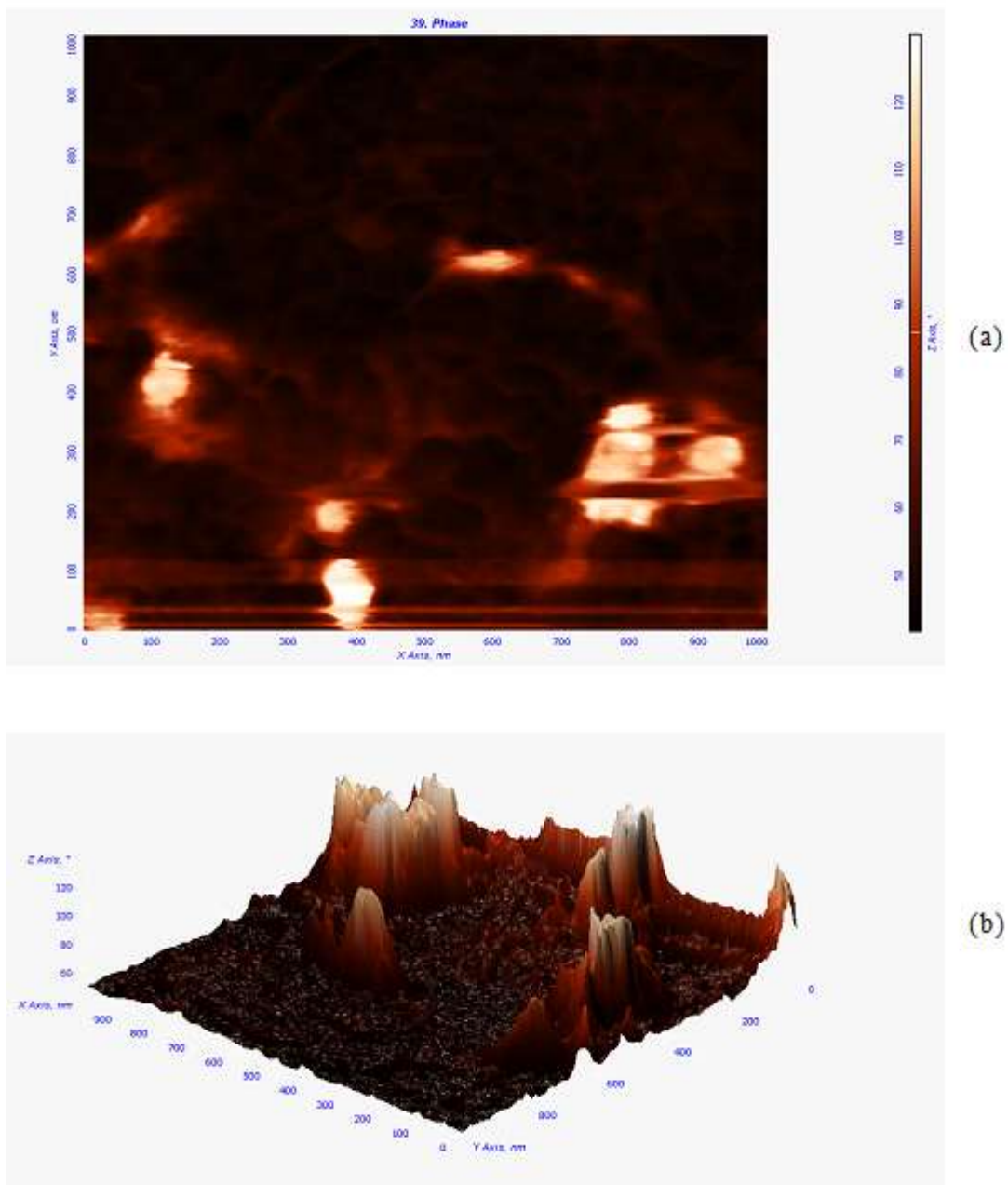
Rajah G – 16 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 5 um x 5 um x $(-60.0^0 > x^0 > 83.8^0)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



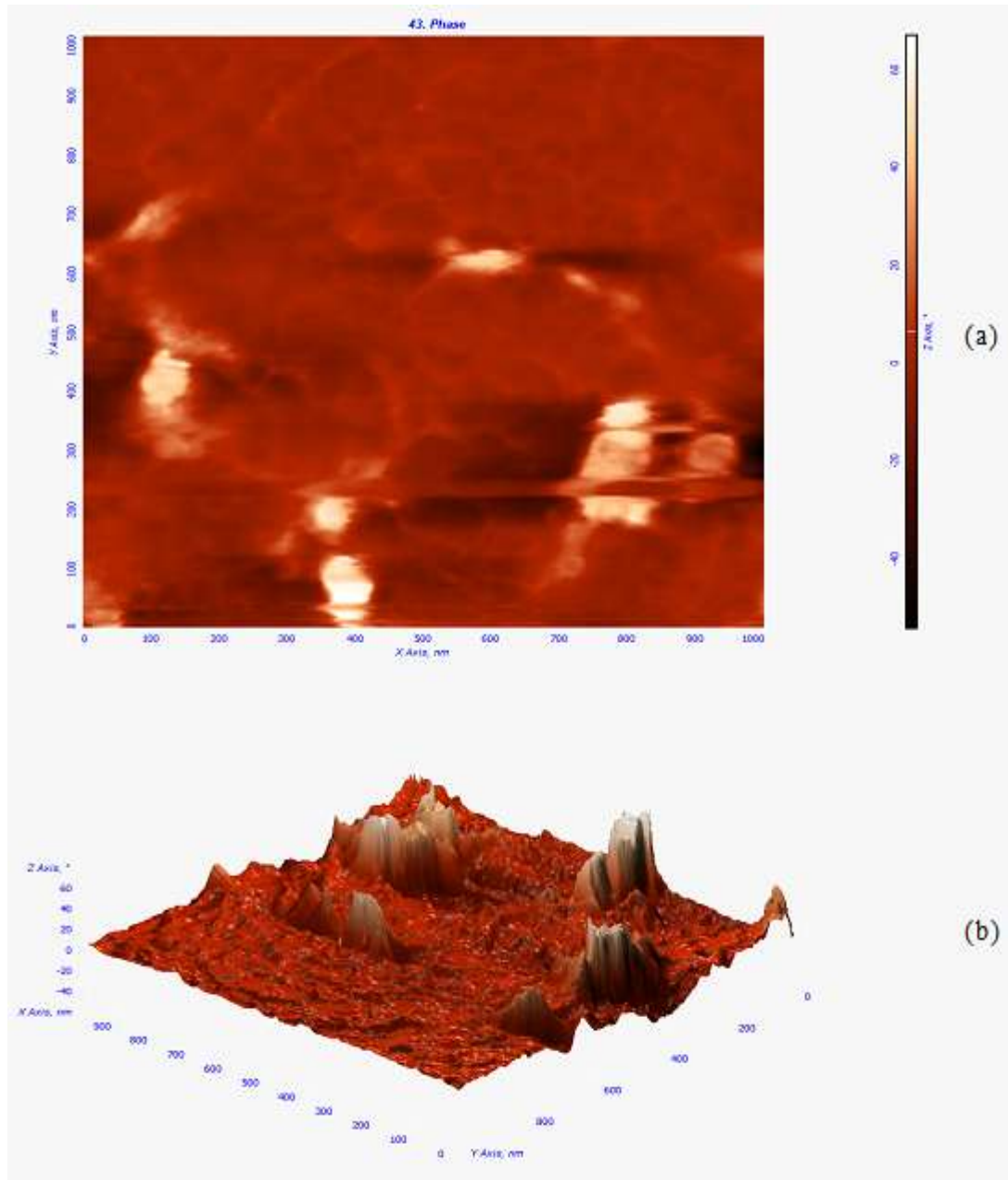
Rajah G – 17 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 2 um x 2 um x $(-40.7^0 > x^0 > 130.9^0)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



Rajah G – 18 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 2 um x 2 um x (-31.0⁰ > x⁰ > 86.5⁰); (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



Rajah G – 19 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 $\mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ x $(-41.7^\circ > x^\circ > 129.8^\circ)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D



Rajah G – 20 Bentuk sampel pengukuran ZnO berasas fasadengan luas 1 $\mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ x $(-54.2^\circ > x^\circ > 66.6^\circ)$; (a). Hasil imej untuk 2-D; (b). Hasil imej untuk 3-D

LAMPIRAN H

SENARAI PENERBITAN

H. 1. JURNAL.

1. Harry Ramza, Farshad Nasimi, Khairul Anuar Ishak, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, 2012. *Analysis of TE (Transverse Electric) Modes of Symmetric Slab Waveguide*. Adv. Studies Theor. Phys., Vol. 6, no. 27, pp. 1323 – 1336 (**Scopus indexed**).
2. Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Nani Fadzlina Naim, Mastang Tanra, Harry Ramza, 2012. *Optical System Monitoring Based on Reflection Spectrum of Fiber Bragg Grating*. Journal of Computer Science, Vol. 8, No. 6, pp. 1001-1007. (**Scopus indexed**).
3. Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Luqman AH Azizan, Harry Ramza, Zulkifli Musa, 2012. *The Comparison of Experimental and Analytical Study of the Gaussian Intensity Distribution for Light Emitting Diodes Beam*, Journal of Computer Science, Vol. 8, No. 6, pp. 913-919. (**Scopus indexed**).
4. Harry Ramza, Luqman Al-Hakim Azizan, Nur Hasiba Kamaruddin, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, 2012. *The Critical Observation of Possibility Analysis of Particles in the Maxwell-Boltzmann Distribution Law*, Adv. Studies Theor. Phys., Vol. 6, no. 18, pp. 869 – 877. (**Scopus indexed**).
5. L.S.Supian, Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Norhana Arsad, Harry Ramza. 2014. *Study of Macro-bending of Polymer Fiber in Multimode POF Couplers Development by Lapping Technique*. International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA) 4(1): pp39-47. (**Scopus indexed**).
6. Faizar Abdurrahman, Norhana Arsad, Sabiran and Harry Ramza, 2014, *Simple design flow injection PMMA acrylic sample cell for nitrite determination*. China. Optic. Letter. 12, pp. 043002-1 - 043002-3. (**ISI-THOMSON indexed, Impact Factor: 1.851**).

7. Harry Ramza, Norhana Arsad, Faizar Abdurrahman, Latifah Sarah Supian, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman. 2015. *Optical fiber pressure sensor using extrinsic Fabry–Perot interferometry (EFPI); a theoretical study*. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 17 No.5-6, pp. 545-551. (**ISI-THOMSON indexed, Impact Factor: 0.429**).
8. L.S.Supian, Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Norhana Arsad, Harry Ramza. Article in Press. *Characterizations on Bending Effect on Customized Splitters Using Various Radii of Elliptical-Shaped Blocks*. Journal of Engineering Science and Technology (JESTEC) (to be published in Vol. 11, Issue 11, November 2016) Paper ID: EE15_007. (**Scopus indexed. ISSN: 1823-4690**).
9. Harry Ramza, Latifah S Supian, Norhana Arsad, Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, 2016, *The assessment characteristic of ZnO material for optical sensing layer probe using average scanning of FFT (ASFFT) method*, Scientific Journal of PPI-UKM, Vol.3, No.1, pp. 1-17 (**Non-Index**).

H. 2. PROSIDING.

1. Harry Ramza, Farshad Nasimi, Khairul Anuar Ishak, Norhana Arsad, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, 2012. *Observation Of Swelling Characteristic Of Silicone Coating For Plastik Optical Fiber Sensor*, Proc. International Conference on Engineering and Built Environment (ICEBE) FKAB-UKM, pp.1-7. (**Non-Index**).
2. Malik Sulaiman, Norhana Arsad, Harry Ramza, Mohd Hazwan Harun, Hadi Guna, Farshad Nasimi, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, 2013, *Wavelength Division Multiplexing Network over Polymer Optical Fiber Using Fabricated Couplers for Informatics Communications*, 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI). Procedia Technology, Volume 11, Pages 1211–1217. (**Scopus indexed. ISSN: 2212-0173**).
3. Latifah. S. Supian ; Harry Ramza ; Mohd Syuhaimi Ab-Rahman and Norhana Arsad, 2014. *"Characteristics study of multimode directional coupler by elliptical point contacts and CMT"*, Proc. SPIE 9286, Second International Conference on Applications of Optics and Photonics, 92863K; doi:10.1117/12.2063541; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2063541> (**ISI indexed, Impact Factor: 0.20**).
4. Latifah. S. Supian , Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Norhana Arsad and Harry Ramza, 2014. *Study of Circular Bends in Multimode Polymer Optical Fiber Couplers Fabrication Using Lapping Technique*, The Second International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE2014) – Malaysia. (**Non-Index**).

H. 3. ANUGERAH.

1. PINGGAT PERAK, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Malik Sulaiman, Norhana Arsad, Kasmiran Jumari, Latifah Supian, Harry Ramza. ***Wavelength Division Multiplexing Over Plastik Optical Fiber Technology (WDM – POF) For Air And Maritime Transportation.***, 23rd International Invention, Innovation & Technology Exhibition (ITEX 2012), Kuala Lumpur, Malaysia. 17th – 19th May 2012.
2. PINGGAT EMAS, Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Norhana Arsad, Harry Ramza, Inggo Laredabona, ***Green Entertainment Network for Car.***, 25th International Invention, Innovation & Technology Exhibition (ITEX 2014), Kuala Lumpur, Malaysia. 8th – 10th May 2014.

H. 4. BUKU RUJUKAN.

1. Harry Ramza dan Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, 2011, ***Dasar Teknik Digital.***, Penerbit PT. Gramedia Widiasarana Indonesia (GRASINDO). ISBN . 978 – 979 – 081 – 670 – 1.