

KESAN BAHAN TAMBAH ASID OLEIK DALAM BAHAN API DIESEL
KEATAS PRESTASI ENJIN DAN EMISI EKZOS

YOS NOFENDRI

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
SARJANA SAINS

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2010

PENGAKUAN

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

6 Februari 2010



YOS NOFENDRI

P30745

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, dengan rahmat, kurnia dan hidayah ALLAH SWT saya telah berjaya menyelesaikan penulisan tesis ini dengan baik. Saya sangat menyedari bahawa penyusunan dan penulisan tesis ini boleh ditamatkan dengan baik kerana keredhaan ALLAH SWT serta bantuan, motivasi, sokongan dan nasihat dari pelbagai pihak.

Dengan kerendahan dan keikhlasan hati, saya menyampaikan ucapan jutaan terima kasih kepada Prof. Ir. Dr. Hj. Yusoff Ali dan Prof. Dr. Amir Hassan Khadum selaku penyelia dalam tesis ini atas segala dorongan, bantuan, tunjuk ajar, buah fikiran serta kata-kata perangsang yang tidak pernah putus. Terima kasih juga diucapkan di atas kesabaran dan juga kepercayaan penuh beliau selama ini.

Penghargaan yang tinggi juga diberikan kepada En. Azizan Ahmad, Arip dan Pn. Norazimah selaku juruteknik di Makmal Enjin Pembakaran Dalam dan Kimia. Terima kasih atas pertolongan dan kerjasama serta layanan yang baik yang telah diberikan selama saya melakukan ujikaji di makmal.

Tidak lupa juga kepada teman-teman seperjuangan. Akhir sekali saya ingin merakamkan ucapan terima kasih dan penghargaan yang istimewa buat Bunda yang telah banyak memberikan bantuan doa.

ABSTRAK

Pada masa kini, pencarian terhadap bahan semulajadi sebagai bahan tambah dalam campuran bahan api telah difokuskan bagi menghasilkan bahan api mesra alam. Perkara ini penting kerana telah berkurangnya sumber bahan api fosil masa ini dan adanya peningkatan harga minyak mentah dan penguatkuasaan kawalan pencemaran emisi kenderaan. Oleh itu, sangat diperlukan bahan api yang mesra alam dengan penambahan bahan tambah alternatif untuk mengatasi masalah pencemaran. Dalam kajian ini, ozonida asid oleik telah digunakan sebagai bahan tambah kepada bahan api diesel dengan tujuan meningkatkan kecekapan bahan api di dalam enjin. Ujian prestasi dan emisi ekzos dilakukan dengan menggunakan enjin diesel bersilinder tunggal yang disambungkan dengan dinamometer arus pusar (*eddy current*) dan sistem pengambilan data IMC (*integrated measurement control*) beserta penganalisis gas emisi. Kadar bahan tambah yang dicampurkan ke dalam bahan api diesel telah diujidari sebanyak 1% hingga 5%. Ujian prestasi dan emisi ekzos dijalankan pada kelajuan enjin antara 900 rpm hingga 1700 rpm pada keadaan beban penuh. Parameter ujikaji yang direkodkan untuk ujian prestasi adalah kuasa enjin, daya kilas, penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma enjin. Paramater emisi ekzos yang dianalisis adalah jelaga (*soot*), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon tak terbakar (UHC), dan nitrogen oksida (NO_x). Semua parameter ini dibandingkan antara bahan api diesel tulen dengan bahan api diesel campuran bahan tambah. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa bahan tambah asid oleik yang diozonkan boleh digunakan sebagai bahan tambah kepada bahan api diesel. Bahan tambah asid oleik boleh menjimatkan penggunaan bahan api dan meningkatkan kualiti bahan api diesel. Bahan tambah ozonida asid oleik pada kajian ini boleh menjimatkan penggunaan bahan api tentu dan meningkatkan kecekapan terma enjin pada tiap-tiap penambahan. Peningkatan maksimum terjadi pada penambahan sebanyak 1% boleh menjimatkan penggunaan bahan api tentu sebanyak 12% dan meningkatkan kecekapan terma enjin sebanyak 16 % berbanding bahan api disel biasa. Kuasa enjin dan tork bahan api campuran meningkat sebanyak 5% berbanding bahan api diesel biasa. Pada emisi ekzos kajian ini menunjukkan bahawa pencampuran bahan tambah kepada bahan api disel boleh menunjukkan kesan yang bermanfaat. Jelaga yang terhasil oleh bahan api campuran didapati berkurangan dan penurunan maksimum jelaga terjadi pada campuran bahan tambah sebanyak 1% dengan penurunan jelaga sehingga 30 % berbanding bahan api disel standard. Bagi emisi karbon monoksida (CO) penurunan maksima sebanyak 35% pada penambahan 1% bahan tambah, walaubagaimana pun nitrogen oksida (NO_x) pula terjadi peningkatan sebanyak 9% pada campuran 1% bahan tambah pada kelajuan tinggi, dan terjadi peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) sebanyak 5.5 % pada campuran 1% bahan tambah berbanding bahan api disel biasa. Penurunan kadar hidrokarbon tak terbakar (UHC) terjadi direkodkan sebanyak 13 % penurunan pada campuran terbaik 1%. Kajian ini menunjukkan bahawa penambahan ozonida asid oleik kepada bahan api disel yang paling baik adalah pada kadar 1% bahan tambah kerana keadaan ini memberikan kesan yang paling baik terhadap prestasi dan dapat menurunkan kadar pencemaran jelaga emisi ekzos berbanding dengan peratus penambahan yang lain.

THE EFFECT OF OZONIDE OLEIC ACID AS DIESEL ADDITIVE ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

ABSTRACT

At present the search for environmentally friendly fuel is focused on the fuel additive from the natural base. This issue is important because of the shortage of the fossil fuel and the rise of world's crude oil price and the stringent enforcement of pollution control on the exhaust emissions. As such there is a need to study, ozonised oleic acid addition is added to the diesel fuel, with the objectives to improve engine efficiency, performance and reduce noxious exhaust emission. A single cylinder diesel engine has been used in the engine test bed which is coupled with eddy current electric dynamometer and is integrated with IMC data measurement unit. The exhaust gas was measured using exhaust gas analyzer. The ozonide oleic acid has been used as the additives in the diesel fuel, for this experiment with the blends of 1% - 5 % by volume. The engine performance test was carried out in the speed range between 900 and 1700 rpm and full load conditions. the experiment was carried out to obtain the engine performance parameters, such as power, torque, specific fuel consumption and thermal efficiency. The exhaust emissions analyzed were carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), unburned hydrocarbon (UHC) and nitric oxides (NO_x). All of these parameters of the engine performance were compared between diesel fuel and diesel fuel with additive blend. The experimental result shows that the presence of ozonic oleic acid additive in diesel fuels significantly improve the engine performance and emission. All percentage of the blends tested show a beneficial effect on increasing engine performance and reducing exhaust gas emission compared with standart diesel fuel. The ozonic oleic acid can reduce fuel consumption and can increase the quality of diesel fuel. The addition of ozonic oleic acid is best volume fraction at 1% addition to the diesel which fuel can save specific fuel consumption by 12 % and increase thermal efficiency by 16 % compare to standart diesel fuel. Brake power and torque were slightly improve by about 5% with addition of additive. The exhaust emission tests shows that diesel fuel blend with additive can give beneficial effect on the emission. The effect of the additives on the soot formation was observed. The addition of 1% of the additives has reduced the formation of the soot up to about 30 % soot formation compared with standart diesel. The carbon monoxide was reduced by 35% maximum with the best addition of 1 % additive. However the nitrogen oxides (NO_x) was increased by 9% at 1% additive blend at high speed range. The carbon dioxide (CO₂) was also observed slightly increased by about 5.5% at 1% additive blend. For unburned hydrocarbon (UHC) a reduction of about 13% was calculated at the best blend of 1%. The study indicates that ozonic oleic acid can be used as an additives and the best blend of 1% by volume to diesel fuel is sufficient to produce optimal effects to the engine performance and exhaust emission compared with other higher percentage.

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI RAJAH		ix
SENARAI JADUAL		xi
SENARAI SIMBOL		xii
BAB 1	PENDAHULUAN	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Latar Belakang	2
1.3	Tujuan Kajian	3
1.4	Objektif Kajian	4
1.5	Skop Kajian	4
BAB 2	KAJIAN LITERATUR	
2.1	Pendahuluan	6
2.2	Ciri Bahan Api Diesel	6
2.3	Kualiti Pembakaran Bahan Api Diesel	9
2.4	Bahan Tambah Kepada Bahan Api Diesel	12
	2.4.1 Peningkatan prestasi enjin	12
	2.4.2 Kestabilan bahan api diesel	13
	2.4.3 Kawalan bahan cemar	14
2.5	Parameter Prestasi Enjin Diesel	14
	2.5.1 Tork	15
	2.5.2 Kuasa Brek	15
	2.5.3 Kadar Aliran Jisim Bahan Api	15
	2.5.4 Bahan Api Tentu	16
	2.5.5 Kecekapan Penukaran Bahan Api	16
	2.5.6 Nisbah Mampatan	17

	2.5.7	Nisbah Udara/Bahan Api	18
	2.5.8	Nisbah Kesetaraan dan Nisbah Relatif	18
2.6		Parameter emisi ekzos enjin diesel	21
	2.6.1	Hidrokarbon tak terbakar	22
	2.6.2	Jelaga	23
	2.6.3	Karbon monoksida	23
	2.6.4	Oksida nitrogen	24
	2.6.5	Sulfur oksida	25
	2.6.6	Partikel-partikel emisi yang lain	25
2.7		Kesan Bahan Tambah Terhadap Prestasi dan emisi ekzos	25
2.8		Rumusan	29
BAB 3	KARATERISTIK DAN SIFAT BAHAN		
3.1		Pendahuluan	31
3.2		Asid Oleik	31
3.3		Kaedah Penyediaan Bahan Api dan Bahan Tambah	33
	3.3.1	Ozonolisis	33
	3.3.2	Analisis FTIR	34
	3.3.3	Teknik Pencampuran	36
3.4		Ujian Nilai kalori Menggunakan Bomb Kalori	37
	3.4.1	Penentukuran Kalorimeter	38
	3.4.2	Penyediaan Bahan Ujikaji Nilai Kalori	39
	3.4.3	Bahagian Bekas Penguraian	39
	3.4.4	Bahagian Perisian Kalorimeter	40
3.5		Ujian Ketumpatan	43
3.6		Ujian Kelikatan	46
	3.6.1	Penyediaan bahan ujikaji nilai kelikatan	47
	3.6.2	Bahagian perisian rheometer VT550	47
3.7		Kesimpulan	49
BAB 4	KAEDAH UJIKAJI DAN ALAT RADAS		
4.1		Pendahuluan	50
4.2		Kelengkapan Ujikaji Enjin	50
	4.2.1	Enjin dan Dinamometer	52
	4.2.2	Sistem Unit Kawalan	53
	4.2.3	Penganalisis Emisi Ekzos	55
	4.2.4	Sistem Bahan Api dan Pengukuran Kadar Aliran Bahan Api	56
4.3		Kaedah Ujikaji Prestasi Enjin	58

4.4	Kaedah Ujikaji Emisi Ekzos	61
4.5	Kesukaran Dalam Pengambilan Data Ujikaji	62
BAB 5 HASIL DAN PERBINCANGAN		
5.1	Pendahuluan	63
5.2	Hasil ujian sifat bahan api	63
	5.2.1 Ketumpatan	64
	5.2.2 Kelikatan	65
	5.2.3 Nilai kalori	66
5.3	Prestasi Enjin	67
	5.3.1 Hasil Tork Dan Kuasa Enjin	67
	5.3.2 Penggunaan bahan api tentu	68
	5.3.3 Kecekapan terma	69
5.4	Emisi Ekzos	71
	5.4.1 Jelaga	71
	5.3.1 Karbon Monoksida	72
	5.3.2 Emisi Karbon Dioksida	72
	5.3.3 Hidrokarbon tak terbakar	73
	5.3.3 Nitrogen Oksida	74
5.5	Perbincangan	75
BAB 6 KESIMPULAN		
6.1	Kesimpulan	88
6.2	Cadangan Ujian Masa Hadapan	89
RUJUKAN		90
LAMPIRAN		94

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
3.1	Struktur ringkas asid oleik	32
3.2	Struktur asid oleik	32
3.3	Struktur grafik molekul asid oleik	32
3.4	Persamaan tindakbalas asid oleik dengan ozon	34
3.5	Spektrum infrared asid oleik	34
3.6	Spektrum infrared asid oleik selepas proses ozonolisis	35
3.7	Gambar asid oleik sebelum di ozonolisis	37
3.8	Gambar bahan tambah asid oleik selepas proses ozonolisis	37
3.9	Gambar kalorimeter bom model kawalan C5000	38
3.10	Teknik pemasangan mangkuk pijar pada bekas penguraian	40
3.11	Graf suhu (K) melawan masa (min)	42
3.12	Keputusan yang terhasil daripada ujikaji	42
3.13	Gambar piknometer 10 ml	44
3.14	Gambar alat penimbang	44
3.15	Pengaruh ketumpatan jenis terhadap penggunaan bahan api pada enjin 4 silinder	46
3.16	Gambar alat rheometer haake	48
3.17	Gambar tetabung yang digunakan pada rheometer haake	48
4.1	Komponen utama pengujian enjin	51
4.2	Gambar enjin diesel silinder tunggal berjenama Yanmar	52
4.3	Gambar Dinamometer lenze jenis MGFQU 100-22	53
4.4	Gambar single cylinder engine & dinamometer testbed Model TM-1901-SCE	54
4.5	Gambar komputer perekod data	54
4.6	Gambar penganalog data IMC	54
4.7	Gambar penganalisis emisi ekzos	55
4.8	Gambar gelas buret pengatur halaju bahan api	56
4.9	Sistem aliran bahan api	57
4.10	Carta alir ujikaji prestasi enjin	60
4.11	Carta alir ujikaji emisi ekzos enjin	61
5.1	Ketumpatan bahan api melawan bahan tambah	77

5.2	Kelikatan bahan api melawan kadar bahan tambah	77
5.3	Nilai kalori bakar melawan kadar bahan tambah	78
5.4	Graf Tork melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah	79
5.5	Graf kuasa enjin melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah	80
5.6	Graf penggunaan bahan api tentu enjin melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar	81
5.7	Graf kecekapan terma enjin melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahab tambah	82
5.8	Graf jelaga melawan kelajuan enjin pada perlbagai kadar bahan tambah	83
5.9	Graf karbon monoksida melawan kelajuan enjin pada perlbagai kadar bahan tambah	84
5.10	Graf karbon dioksida melawan kelajuan enjin pada perlbagai kadar bahan tambah	85
5.11	Graf hidrokarbon tak terbakar melawan kelajuan enjin pada perlbagai kadar bahan tambah	86
5.12	Graf oksida nitrogen melawan kelajuan enjin pada perlbagai kadar bahan tambah	87

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
3.1	Sifat-sifat fizik dan kimia asid oleik	33
3.2	Keputusan ujian penentukuran nilai kalori	38
3.3	Keputusan ujian nilai kalori bakar pada campuran bahan apidiesel	43
3.4	Keputusan ujian ketumpatan pada campuran bahan api diesel	45
3.5	Keputusan ujian kelikatan pada campuran bahan api diesel	49
4.1	Spesifikasi enjin	52
4.2	Spesifikasi BOSH pengukur jelaga	55
5.1	Perbandingan keputusan ujian ketumpatan pada campuran bahan api diesel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan	64
5.2	Perbandingan keputusan ujian kekelikatan kinematik pada campuran bahan api diesel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan	65
5.3	Perbandingan keputusan ujian nilai kalori pada campuran bahan api diesel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan	67
5.4	Peratus kenaikan tork dan kuasa enjin bahan api diesel bahan tambah berbanding bahan api disel biasa.	68

SENARAI SIMBOL

T	daya kilas
F	daya brek
r	lengan brek
N	kelajuan enjin
KB	kuasa brek
m_f	kadar aliran jisim
ρ_f	ketumpatan bahan api
V_f	isipadu bahan api yang disukat dalam 100 cm ³
pbt	penggunaan bahan api tentu
η_{ib}	kecekapan terma brek
λ	nisbah relatif udara/bahan api
NKR	nilai kalori rendah bahan api
ϕ	nisbah kesetaraan bahan api/udara
(A/F)	nisbah udara bahan api
$(A/F)_{stokiometrik}$	nisbah udara/bahan api stokiometrik
$(A/F)_{sebenar}$	nisbah udara/bahan api sebenar
$(F/A)_{stokiometrik}$	nisbah bahan api/udara stokiometrik
$(F/A)_{sebenar}$	nisbah bahan api/udara sebenar
m_{udara}	jisim udara
$m_{bahan\ api}$	jisim bahan api
t	masa yang diperlukan bagi enjin dalam menggunakan 100 cm ³ diesel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Sumber tenaga dikategorikan kepada dua, iaitu sumber tenaga lazim dan sumber tenaga alternatif. Sumber tenaga lazim ialah sumber tenaga yang dijanakan dari dasar bumi seperti bahan api fosil dan sumber tenaga nuklear. Manakala sumber tenaga alternatif adalah sumber tenaga yang berasaskan proses dan sumber atau aktiviti alam, oleh itu sering disebut sumber tenaga boleh diperbaharui.

Penghasilan sumber tenaga lazim seperti bahan api fosil dari bumi melalui proses dekomposisi yang memakan masa lama dan pertukaran kimia bahan organik hasil daripada tekanan tanah. Proses tersebut dijangkakan memerlukan masa 500 bilion tahun, untuk menjadi bahan api fosil seperti arang batu, minyak mentah, gas asli dikelompokkan sebagai tenaga tidak boleh diperbaharui.

Bahan tambah kepada bahan api adalah bahan kimia yang sedang digunakan di negara maju pada masa sekarang ini. Amil nitrat, etil nitrat, eter dan asid lemak adalah sebahagian daripada bahan tambah yang di gunakan secara am bagi menaikkan nombor cetana bahan api disel (Ganesan 2004). Kenaikan harga minyak fosil menyebabkan kerja-kerja penyelidikan semakin fokus untuk mencari bahan api pengganti bahan api fosil.

Pada masa kini, kebanyakan enjin pembakaran dalaman beroperasi berdasarkan sama ada pencucuhan mampatan atau pencucuhan palam pencucuh. Dalam kedua-dua kes, bahan api dan bahan tambah yang sesuai telah dimajukan selari

dengan perkembangan dan perubahan enjin disel untuk pencucuhan mampatan dan enjin petrol untuk pencucuhan palam pencucuh.

Bahan api ini dihasilkan menurut piawai yang tepat untuk memastikan kualiti yang tinggi secara berterusan kepada pengguna. Dalam kedua-dua situasi ini sangat penting apabila mempertimbangkan bahan api dan bahan tambah pilihan untuk menjimatkan penggunaan bahan api. Bagaimanapun dengan kekurangan bahan api fosil, di tambah pula dengan harga yang mahal, kajian telah dilakukan di seluruh dunia untuk memperoleh bahan api dan bahan tambah alternatif bagi enjin sedia ada. Selain itu, pencemaran udara juga merupakan masalah yang di hadapi semua negara, kerana pencemaran udara mendatangkan kerugian yang besar pada kesihatan dan persekitaran.

1.2 LATAR BELAKANG

Metanol, etanol dan metil ester adalah sebahagian kecil daripada bahan tambah oksigenat yang digunakan secara am bagi menaikkan nombor cetana bahan api diesel. Bahan api ini dihasilkan mengikut piawai yang tepat untuk memastikan kualiti yang tinggi secara berterusan kepada pengguna. Dalam situasi sekarang ini sangat penting mempertimbangkan bahan api dan bahan tambah pilihan untuk menjimatkan penggunaan bahan api dalam enjin dalam bidang pengangkutan.

Bahan tambah oksigenat adalah penting kepada bahan api diesel. Untuk meningkatkan kualiti bahan api serta bahan tambah juga bertujuan meningkatkan kecekapan prestasi enjin, mengelakan ketukan enjin yang merbahaya dan mengurangkan emisi ekzos serta dapat mengurangkan penggunaan bahan api.

Dalam kajian ini, bahan tambah beroksigenat dari sebatian asid oleik yang diozonkan (ozonida asid oleik) digunakan sebagai bahan tambah kepada bahan api diesel bagi mengatasi masalah utama yang dihadapi para penghasil minyak fosil. Masalah tersebut ialah memperoleh bahan api dengan hasil pembakaran yang lebih bertoleransi terhadap persekitaran, menaikkan kecekapan prestasi enjin serta meningkatkan kesan terhadap penjimatan penggunaan bahan api (bahan api yang

ekonomi). Oleh itu, kesan bahan tambah ozonida asid oleik sebagai bahan tambah kepada bahan api diesel terhadap prestasi enjin dan pengeluaran emisi ekzos dan mengurangkan kesan ketukan enjin.

1.3 TUJUAN KAJIAN

Keperluan bahan tambah telah meningkat kerana perubahan daripada kerencaman bahan api fosil. Tumpuan kajian diberikan untuk menganalisis prestasi enjin dan gas ekzos daripada pembakaran bahan api dalam enjin diesel yang melibatkan penggunaan enjin diesel secara meluas dalam bidang perindustrian dan pengangkutan. Banyak kajian telah dilakukan terhadap pembakaran dan rekabentuk enjin disel untuk meningkatkan prestasi enjin tetapi kajian terhadap gas ekzos dari pada enjin diesel adalah terhad berbanding kajian terhadap prestasi dan rekabentuk enjin itu sendiri.

Dalam industri automotif yang berkembang dan bilangan kenderaan di jalan raya yang semakin meningkat, isu pencemaran udara yang disebabkan oleh penghasilan gas ekzos dari kenderaan bermotor telah menjadi masalah besar. Pengawasan terhadap bahan cemar akibat pembakaran telah dititikberatkan oleh pengkaji-pengkaji dan oleh pelbagai pihak lain. Persoalan pemanasan global, pencemaran karbon dioksida (CO_2) karbon monoksida (CO), nitrik oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2) dan tindak balas ozon (jelaga dan asap) adalah contoh-contoh hasil pencemaran pengeluaran bahan cemar oleh pembakaran, terutamanya pengeluaran ekzos daripada hasil enjin pembakaran dalaman (John B Heywood 1988).

Penjimatan penggunaan bahan api merupakan perkara yang sangat penting dan telah menjadi perhatian utama dan mendesak kerajaan di negara-negara maju telah membuat peraturan dan perundangan yang berkaitan dengan masalah pencemaran ini dan telah mengadakan pernyataan Kyoto Protocol. Pernyataan tersebut menyebabkan pengeluar kenderaan melakukan usaha menurunkan penggunaan bahan api dengan cara mereka bentuk enjin yang lebih baik yang boleh mengurangkan penggunaan bahan api, dan mengurangkan pencemaran. Penghasil bahan api dan bahan tambah, juga berusaha keras mengkaji bahan api alternatif atau bahan tambah pencampur

bahan api diesel yang boleh memberikan penjimatan bahan api dan pengurangan kos operasi kenderaan.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian ini adalah bertujuan untuk :

1. Mengkaji perbandingan prestasi enjin penggunaan bahan api diesel tulen dengan bahan api diesel dicampur dengan bahan tambah ozonida asid oleik
2. Mengkaji perbandingan emisi ekzos enjin dari penggunaan bahan api diesel biasa dengan bahan api diesel yang di tambah bahan tambah ozonida asid oleik

1.5 SKOP KAJIAN

Skop kajian yang dijalankan dihadkan kepada perkara berikut kerana peralatan yang ada :

1. Kajian adalah termasuk ujikaji perbandingan sifat bahan api, prestasi dan emisi ekzos enjin apabila menggunakan bahan tambah ozonida asid oleik sebagai bahan tambah dalam bahan api diesel.
2. Prestasi enjin yang dikaji meliputi parameter-parameter kuasa enjin, daya kilas, penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma.
3. Emisi ekzos yang dianalisis iaitu jelaga, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon takterbakar (UHC) dan oksida nitrogen (NO_x). Sedangkan bagi sulfur oksida (Sox) tidak di analisis kerana alat penganalisa Gas Pembakaran Bosch jenis BEA 150 / 250 / 350 tidak mempunyai sensor sulfur oksida (SO_x).

Andaian yang dijangkakan kajian campuran additif ini dapat :

1. Mengurangkan penggunaan bahan api diesel (bahanapi tentu)
2. Meningkatkan kualiti bahan api diesel dan mengurangkan ketukan enjin
3. Mengurangkan emisi gas ekzos yang mengotori udara berbentuk asap hitam
4. mengurangkan kesan gas rumah hijau dan pemanasan global

Tesis ini mengandungi 6 Bab seperti berikut :

Bab I, Pendahuluan. Bab ini memperkenalkan bahan api diesel lazim, latarbelakang perlunya dilakukan kajian ini, tujuan kajian, objektif kajian dan skop kajian.

Bab II, Kajian literatur. Bab ini menunjukkan kajian-kajian yang telah di buat oleh penyelidik terdahulu berhubung ciri bahan api diesel, kualiti pembakaran bahan api diesel, kesan bahan tambah pada bahan api diesel merangkumi prestasi enjin, kestabilan bahan api diesel dan kawalan pencemaran. Bab ini juga memaparkan parameter prestasi enjin diesel dan parameter emisi ekzos dan kajian- kajian lepas yang berkaitan

Bab III, Pencirian dan sifat bahan. Bab ini memaparkan sifat-sifat dan pencirian daripada bahan tambah oksigenat asid oleik. Kaedah penyediaan bahan api dan bahan tambah, dan kaedah-kaedah pengujian bahan api merangkumi nilai kalori, ketumpatan dan kelikatan.

Bab IV, Kaedah penyelidikan. Bab ini memaparkan tentang cara kerja kajian ini dan alat-alat yang digunakan mahupun data-data yang di ambil pada kajian ini, untuk membandingkan kajian prestasi

Bab V, Hasil dan perbincangan. Bab ini membincangkan hasil-hasil kajian dan perbincangan yang diambil merangkumi kualiti bahan api, kecekapan enjin diesel dan kesan emisi ekzos bahan api diesel berbanding dengan bahanapi asal.

Bab VI, Kesimpulan dan cadangan. Bab ini memberikan kesimpulan-kesimpulan kajian ini yang berfaedah menjawab objektif yang hendak di capai.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 PENGENALAN

Bahan tambah merupakan bahan yang ditambahkan pada bahan api untuk memberikan kesan peningkatan terhadap prestasi enjin. Bahan tambah yang ditambahkan kepada bahan api berguna untuk mendapatkan kesan terhadap pengurangan kepada ketukan enjin (*engine knocking*), juga memberikan penjimatan penggunaan bahan api, dan mengurangkan emisi ekzos yang merbahaya. Pada bab ini menerangkan ciri-ciri bahan api disel, kualiti pembakaran bahan api disel, dan kesan bahan tambah pada bahan api disel. Bab ini juga menjelaskan parameter prestasi enjin disel yang di kaji dan emisi ekzos dan kajian kajian literatur yang berkaitan dengan kajian ini.

2.2. CIRI BAHAN API DISEL

Sebahagian besar bahan api disel terdiri daripada 75 % hidrokarbon tepu (mengandungi iso parafinik dan siklo parafinik) dan 25 % hidrokarbon aromatik (terdiri dari naphtalena dan alkilbenzena). Di dalam kebuk pembakaran, bahan api disel perlu di pancit dan bercampur dengan udara panas termampat sebelum berlaku pembakaran. Kualiti pencucuhan bagi bahan api boleh diterangkan sebagai darjah kesediaan untuk terbakar apabila di pancit ke dalam kebuk pembakaran. Kualiti pencucuhan bahan api yang rendah akan mengambil masa yang lebih lama untuk menyala berbanding dengan kualiti bahan api pencucuhan tinggi. Oleh sebab itu, bahan api berkualiti pencucuhan rendah akan mengakibatkan ketukan enjin disel yang lebih merbahaya.

Kualiti pencucuhan bahan api bergantung kepada nombor setana dan kesan penundaan pembakaran. Nombor setana bahan api disel adalah kaedah paling lazim yang digunakan untuk mengukur kualiti nyalaan bahan api disel. Standard penomboran setana berasaskan sebatian setana ialah sejenis bahan api kimia yang mempunyai kualiti pencucuhan yang paling tinggi, dan diberi kadar 100 manakala Alfa-metilnaptalena ialah sejenis bahan api kimia yang mempunyai kualiti pencucuhan yang sangat rendah dan diberi kadar 0. Nombor setana disel yang biasa digunakan di Malaysia ialah antara 45 – 55.

Suhu pencucuhan diri ialah suhu apabila bahan api boleh tercucuh tanpa bantuan percikan api. Semakin rendah suhu pencucuhan bahan api dikatakan lebih baik sebab lebih mudah untuk menghidupkan enjin dan kesan ketukan disel menjadi berkurangan. Oleh itu semakin rendah suhu pencucuhan diri, maka semakin tinggi kualiti pencucuhan bahan api tersebut.

Takat kilat ialah keadaan suhu apabila bahan api dapat menghasilkan wap yang mudah terbakar. Untuk memastikan takat kilat, bahan api tertentu dipanaskan dalam suatu bekas (terbuka atau tertutup) dan nyalaan dilakukan menerusi wap bahan api yang panas. Suhu ketika wap bahan api ini terbakar seketika lalu terpadam disebut sebagai suhu takat kilat bahan api. Takat kilat bahan api tidak berkaitan dengan prestasi enjin, tetapi ini penting untuk pemegangan atau mengambil langkah-langkah keselamatan semasa penyimpanan dan pengendalian bahan api.

Kelikatan ditakrifkan sebagai kesukaran untuk bendalir mengalir. Bendalir yang mempunyai takat kelikatan yang tinggi, maka tahap rintangan terhadap aliran lebih besar. Ia boleh dikenali dengan ketebalan mahupun kenipisan bendalir ketika dituang bebas. Dari sudut amalan biasa, kelikatan sesuatu bendalir ialah ukuran ketebalan atau kenipisan sejenis bendalir. Kelikatan diukur menggunakan meter likat iaitu mengukur masa yang diperlukan oleh sejumlah bendalir tertentu untuk mengalir menerusi satu set orifis.

Nilai kalorifik bahan api disel ialah kuantiti haba yang dibebaskan apabila bahan api disel dibakar secara lengkap. Ia diukur dalam unit joule per kilogram bahan

api. Sulingan bahan api disel mempunyai anggaran nilai kalorifik sebanyak 44 megajoule per kilogram (45 MJ/Kg), manakala gred bahan api petrol 47 MJ/Kg dan untuk gas aseli nilai kalorifik yang lebih tinggi iaitu 50 MJ/Kg (Ganesan, 2004). Oleh kerana pembakaran dalam enjin bergantung kepada haba untuk menghasilkan kuasa, nilai kalorifik bahan api mempunyai kaitan dengan kuasa keluaran enjin.

Graviti tentu suatu bahan ialah nisbah jisim suatu isipadu bahan berbanding dengan jisim air pada isipadu yang sama. Bahan api disel mempunyai graviti tentu 820 sehingga 950 kg/m^3 pada suhu 15°C . Spesifikasi tentu ini bukan sahaja penting dari segi aspek pembakaran atau prestasi, tetapi juga digunakan untuk menukarkan berat bahan api kepada isipadu bahan api atau sebaliknya.

Takat curah merupakan suhu terendah pada keadaan ujian apabila bahan api akan mengalir akibat berat sendiri. Bahan api mestilah mengalir secara bebas pada suhu paling rendah yang mungkin dialami, oleh itu takat curah menjadi faktor yang penting. Walaubagaimanapun takat curah yang rendah lazimnya diperolehi pada kualiti pencucuhan bahan yang rendah. Oleh itu penggunaan bahan api yang mempunyai takat curah rendah haruslah dielakkan.

Takat awan ialah suhu apabila kandungan lilin didalam bahan api disel mulai menghablur serta memejal. Dalam proses ini, bahan api menjadi likat seperti berawan. Gred takat awan bahan api untuk kawasan musim sejuk seperti di selatan dan timur Australia adalah lebih kurang -1°C hingga -2°C , manakala di kawasan musim panas ialah kira-kira 5°C . Perubahan takat awan membolehkan pengguna mendapat manfaat daripada bahan api disel gred musim sejuk dan gred musim panas. Jadual 2.1 menunjukkan ciri-ciri bahan api disel

Jadual 2.1 Ciri-ciri bahan api disel tulen. (Sumber MPOB Malaysia, 2002)

Ujikaji	Kaedah	Hasil
Graviti Tentu	ASTM D1290 0	8330 @ 15°C
Sulphur content (% wt)	IP 242	0.1
Kelikatan @40 °C (cSt)	ASTM D445	4
Takat Curah (°C)	ASTM D97	12
Takat Awan (°C)	ASTM D2500	15.4
Takat Kilat (°C)	ASTM D93	98
Haba Pembakaran Kasar (kJ kg-1)	ASTM D2332	45,800
Baki Karbon (% wt)	ASTM D198	0.14
Mula Takat Didih (°C)		228
50% (°C)		298
Akhir Takat Didih (°C)		400

2.3 KUALITI PEMBAKARAN BAHAN API DIESEL

Dalam enjin disel gerakan omboh dari kedudukan yang paling atas iaitu pusat mati atas (PMA) ke kedudukan yang paling bawah iaitu pusat mati bawah (PMB) atau sebaliknya disebut sebagai lejang omboh. Prinsip operasi yang sama digunakan dalam kitaran empat lejang. Untuk melengkapkan satu kitaran dalam enjin, dua putaran lengkap aci engkol dan satu putaran lengkap aci sesondol diperlukan. Urutan proses bagi kitaran empat lejang omboh melakukan satu kitaran lengkap dalam enjin disel ialah lejang pengambilan, lejang mampatan, lejang kuasa dan lejang ekzos

Pada lejang pengambilan omboh ditolak kebawah silinder melalui aci engkol dan rod penyambung. Pembukaan injap dilakukan oleh sesondol. Pergerakan omboh ke bawah dalam silinder akan menghasilkan satu ruang tekanan rendah (vakum). Magnitud tekanannya bergantung pada nisbah kawasan silangan dan pintu masukan serta kelajuan omboh yang digerakkan. Tekanan atmosfera yang tinggi menolak usaha masuk melalui injap pengambilan ke dalam silinder.

Pada lejang mampatan omboh bergerak ke atas PMA dan PMB dengan ditolak oleh aci engkol. Pada masa ini, kedua-dua injap masukan dan injap keluaran adalah

tertutup. Udara yang terperangkap di atas omboh akan dimampatkan kepada ruang yang lebih kecil iaitu dari $1/12$ ke $1/24$ daripada isipadu asalnya. Ini juga dipanggil julat nisbah mampatannya. Biasanya nisbah mampatannya adalah 20:1. ini bergantung kepada saiz enjin dan julat kelajuannya. Mampatan udara yang sangat tinggi di dalam silinder enjin menyebabkan berlaku geseran di antara molekul udara sehingga menjanakan haba yang cukup untuk mencucuh bahan api yang di suntik masuk ke dalam silinder. Suhu dalam silinder dalam keadaan ini adalah lebih kurang 436°C hingga 448°C . oleh sebab itu, sistem pencucuhan tidak diperlukan dalam enjin disel.

Pembakaran bahan api di dalam kebuk pembakaran yang berkualiti mengelakan berlakunya phenomenon ketukan, menghasilkan tenaga gegaran mekanik yang besar, serta berlaku pembakaran yang sempurna dan merata. Chevron Pembakaran sempurna boleh meningkatkan kuasa dan menurunkan emisi ekzos. Penggunaan bahan tambah seperti alkohol dan ether boleh meningkatkan kecekapan pembakaran bahan api pada enjin pembakaran mampatan (Hakan Bayhaktar, 2007). Kualiti pembakaran bahan api boleh diramalkan merujuk kepada penundaan pencucuhan, kadar nombor setana bahan api dan homogeniti wap bahan api dengan udara di dalam kebuk pembakaran (Ganesan, 2004).

Pada lejang kuasa pula, kedua-dua injap masukan dan injap keluaran masih tertutup. Pembakaran campuran udara-bahan api berlaku pada kawasan terkawal. Gas yang terbakar mengembang dan meninggikan tekanan dalam kebuk. Tekanan yang tinggi menolak kepala omboh ke bawah dan menyebabkan aci engkol berputar. Perputaran acing engkol yang mempunyai kelajuan tinggi memerlukan pelincir yang boleh meredam gesekan omboh dengan dinding kebuk pembakaran. Pada masa sekarang ini Asid lemak boleh menjadi bahan tambah untuk meningkatkan pelinciran pada gelang omboh yang di campurkan kedalam bahan api disel tulen (Daniel P, 2004).

Semasa omboh menghampiri lejang terbawah, bahan api disel disuntik ke dalam udara panas dan tebal sebagai semburan tekanan tinggi. Semburan ini adalah halus dan haba mampatan akan menyejat serta menyalakan titisan cecair minyak dengan cepatnya. Dengan masa yang singkat, tenaga haba yang dilepaskan bertukar

menjadi tenaga tekanan. Proses pengembangan adiabatik menolak ombok jauh dari kepala silinder.

Apabila pembakaran itu hampir habis dan ombok sampai pada tempat tertinggi, injap ekzos akan membuka. Baki tekanan dalam silinder akan menolak ekzos keluar dari silinder. Pada hujung lejang ekzos, injap ekzos akan tertutup dan injap pengambilan terbuka, kitaran yang sama akan berulang dalam silinder.

Penundaan pencucuhan pada enjin disel menunjukkan sebagai julat masa (atau crank angle) antara permulaan penyejatan dan permulaan pencucuhan. Permulaan penyejatan bahan api biasanya dilihat dari masa lubang penyuntik dibuka sedangkan permulaan pencucuhan sukar untuk ditentukan dengan tepat. Pencucuhan di dalam kebuk pembakaran yang baik berlaku selepas kepala ombok mencapai titik mati. Penundaan pencucuhan yang terlalu lama akan menurunkan tenaga terma yang terhasil, kerana tolakan daripada kepala ombok berlaku lambat. Penundaan pencucuhan bahan api disel mengikut persamaan Arrhenius (Heywood,1988) :

$$\tau_{id}(ms) = Ap^{-n} \exp\left(\frac{E_A}{R_u \cdot T}\right) \quad (2.1)$$

Dengan, Ap dan n ialah pemalar bergantung kepada bahan api yang digunakan, R_u ialah pemalar gas semesta, E_A ialah tenaga aktivasi berlakunya proses pencucuhan otomatik., T ialah suhu pembakaran (K). Secara khusus bagi bahan api disel dengan nombor setana 40 – 45 dan lebih besar 50 secara berurutan ialah pemalar n ialah 0.757 dan 1.19. pemalar Ap ialah 0.0405 dan 0.44, E_A / RT ialah 5473 dan 4650 (Heywood,1988)

Nombor setana boleh menunjukkan kekompakan bahan api terbakar di dalam kebuk pembakaran. Pembakaran yang tidak kompak mempunyai kesan berlaku ketukan pada enjin, sehingga akan timbul bunyi bising pada enjin. Nombor setana bahan api bergantung daripada kandungan sebatian di dalam bahan api, seperti kandungan sebatian aromatik dapat menurunkan nombor setana. Nombor setana pada bahan api disel lazim iaitu antara 40 hingga 55 (Heywood,1988). Manakala kandungan oksigen di dalam bahan api mempunyai kesan kepada penundaan pencucuhan. Kandungan oksigen boleh dibawa bersama bahan api atau boleh berlaku

disebabkan oleh gas ekzos yang dikembalikan ke dalam kebuk silinder enjin untuk mengawal emisi oksida nitrogen, kandungan oksigen yang berkurang berkesan meningkatkan penundaan pencucuhan (Heywood,1988). Ganesan (2004) mengatakan untuk mengurangkan berlakunya ketukan pada enjin disel ianya boleh dilakukan dengan menambah sedikit sebatian bahan tambah seperti amil nitrat, etil nitrat dan juga eter yang ianya telah banyak digunakan sebagai bahan tambah pada bahan api pada masa ini. Keluaran dari Chevron telah menggunakan bahan alkil dan asid sulfat (H_2S_3) sebagai bahan tambah kepada bahan api dan pelincir bagi enjin pencucuhan mampatan yang di beri nama *Oronite* (Chevron, 2006).

2.4 BAHAN TAMBAH KEPADA BAHAN API DIESEL

Bahan tambah merupakan bahan yang dimasukkan ke dalam bahan api untuk memberikan kesan peningkatan terhadap prestasi bahan api. Beberapa jenis bahan tambah yang ditambahkan pada bahan api disel digunakan untuk memperbaiki prestasi dan meningkatkan kualiti bahan api seperti amil nitrat, etil nitrat, eter dan asid lemak. Bahan tambah dalam disel boleh meningkatkan nombor setana bahan api

Bahan tambah kepada bahan api disel mempunyai pelbagai kegunaan dan kesan. Ia berkesan bagi memperbaiki prestasi dan emisi ekzos enjin. Bahan tambah boleh dikategorikan kepada 3 iaitu :

2.4.1 Peningkatan prestasi enjin

Bahan tambah prestasi enjin (*engine performance additive*) ini bertujuan untuk meningkatkan prestasi enjin dengan meningkatkan nombor setana (*cetane number improvers*), penurunan penundaan pencucuhan dan juga mengurangkan kesan ketukan yang berlaku pada enjin disel.

Bahan tambah pembersih penyuntik (*Injector Cleaning Additives*) berguna untuk membersihkan endapan. Ianya berasal dari bahan api atau minyak pelincir yang terdapat di dalam penyuntik bahan api. Kebanyakan endapan beragam sesuai dengan rekabentuk enjin, komposisi bahan api, minyak pelincir dan pengendalian enjin.

Endapan yang berlebihan boleh mengakibatkan kesan buruk kepada corak semburan suntikan (*injector spray pattern*). Ianya boleh mengganggu proses pencampuran udara bahan api dan akan menurunkan ekonomi bahan api serta meningkatkan emisi ekzos. Bahan pencuci tak-berabu polimerik (*Ashless polymeric detergent*) boleh menjadi bahan tambah untuk membersihkan endapan pada suntikan bahan api. Ianya juga boleh menjaga penyuntik bahan api sentiasa bersih. Bahan tambah pencuci ini secara khas digunakan dalam lingkungan kepekatan 50 ppm sehingga 300 ppm (Chevron, 1998).

Beberapa bahan tambah kepada bahan api dibuat supaya dapat digunakan dalam membantu kerja peliciran. Ianya boleh mengurangkan geseran pada gelang omboh kerana sebahagian besar daripada geseran enjin terjadi pada gelang omboh. Bahan tambah yang digunakan adalah beberapa ikatan bahan dasar molibdenum dan juga bahan surfaktan yang lebih dikenali sebagai bahan pengubahsuaian geseran (*friction modifier*). Bahan ini mempunyai kumpulan atau gugusan bahagian kutub yang dapat melekat pada jarak dan kumpulan oleofobik yang berfungsi sebagai penjaga permukaan tetap berminyak. Dua jenis bahan tambah sebagai pelincir yang biasa digunakan adalah asid lemak dan ester. Kepekatan yang biasa digunakan iaitu 50 ppm sehingga 250 ppm (Chevron, 1998).

Beberapa sebatian organologam bertindak sebagai pemangkin pembakaran. Campuran sebatian tersebut berguna untuk mengurangkan jelaga hitam hasil daripada pembakaran yang tidak sempurna. Sebatian yang biasa digunakan adalah Barium organologam sebagai pengurang jelaga (*Smoke Suppressants*) (Esso, 2007).

2.4.2 Kestabilan bahan api disel

Bahan api disel sama seperti dengan bahan organik lain, merupakan sasaran terjadinya penguraian kerana reaksi pengoksidaan. Reaksi pengoksidaan ini dapat terjadi pada masa bahan api disimpan dalam tangki penyimpanan dan juga di dalam enjin. Pengoksidaan menyebabkan terbentuknya gam yang dapat memberikan kesan yang kurang baik pada kecekapan dan kestabilan bahan api.

Bahan tambah anti pengoksidaan boleh mudah larut di dalam bahan api pada semua keadaan suhu dan tidak boleh melarut pada air yang mungkin ada pada tangki bahagian bawah untuk penyimpanan bahan api. Selain itu bahan tambah anti pengoksidaan juga haruslah terbakar sempurna tanpa meninggalkan gam di dalam kebuk pembakaran. Bahan tambah anti pengoksidaan yang biasa digunakan untuk bahan api disel adalah ikatan kimia dari dua sebatian utama, iaitu *diamine* dan *phenol* (Chevron 1998; Wartawan 1997).

Kebiasaannya penyahaktif logam hanya diperlukan pada masa proses bahan pemanis tembaga (*copper sweetening*) di mana digunakan di dalam kilang. Kenyataannya, sebahagian besar ikatan logam-logam yang tersisa di dalam bahan api berasal daripada reaksi ikatan asid yang ada seperti fenol dan kuprum serta pelbagai campuran logam lain yang digunakan sebagai peralatan kilang juga sistem bahan api kenderaan. Bahan tambah penyahaktif logam yang paling banyak digunakan adalah *N,N' disalicylidena-1,2-propanadamina* yang membentuk ikatan dengan kuprum (Wartawan 1997).

2.4.3 Kawalan bahan cemar (contaminant control)

Salah satu bahan cemar yang boleh mengurangkan kualiti bahan api ialah karatan. Ianya terjadi pada bahagian dalam paip penyaluran bahan api yang menjadi masalah yang serius menyebabkan pengurangan aliran dan meningkatkan karatan dalam bahan api. Tujuan utama bahan tambah pencegah karatan adalah untuk mengurangkan terjadinya karatan pada bahagian dalam paip serta tangki penyimpanan bahan api (Anton L. Wartawan 1997). Bahan tambah yang biasa digunakan adalah bahan surfaktan (Migahed 2005; Alsabagh 2005; Wartawan 1997).

2.5 PARAMETER PRESTASI ENJIN DIESEL

Prestasi enjin dinilai dengan mengukur beberapa kriteria. Enjin yang berlainan boleh dibandingkan antara satu sama lain menurut beberapa kriteria tersebut. Parameter tersebut iaitu tork, kuasa, penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma enjin.

2.5.1 Tork

Tork merupakan daya putaran terhasil dari enjin. Semasa omboh bergerak ke bawah, iaitu semasa lejang kuasa, omboh akan memberi suatu tork melalui rod penyambung kepada aci engkol. Daya pihan pada aci engkol yang berlaku disebut kilas. Lebih kuat tolakan terhadap omboh, lebih besar tork yang akan dikenakan. Tekanan pembakaran yang tinggi juga menyebabkan lebih besar tork yang boleh dijanakan.

Tork biasanya ditentukan melalui dinamometer, antaranya adalah brek tali, brek kasut (*brake pony*), dynamometer hidraul, dan dynamometer elektrik. Tork ditentukan melalui beban yang bertindak pada dynamometer. Berikut adalah formula yang digunakan bagi tork:

$$T = F \times r \text{ (Nm)} \quad (2.2)$$

dengan T adalah tork (Nm), F adalah daya brek (Newton) dan r adalah jarak jejari (m)

2.5.2 Kuasa Brek

Kuasa brek ialah kuasa yang diperoleh daripada aci engkol dan dinyatakan dalam persamaan seperti berikut:

$$KB = \frac{2\pi NT}{60} \text{ (Watt)} \quad (2.3)$$

dengan KB adalah kuasa brek (Watt), N adalah kelajuan enjin (rpm) dan T adalah tork enjin (Nm).

2.5.3 Kadar Aliran Jisim Bahan Api

Maklumat (Ren et al. 2008) dan kuantiti bahan api yang digunakan serta masa yang diambil untuk menggunakan bahan api adalah penting dalam menentukan prestasi sebuah enjin. Lazimnya diungkapkan dalam kg/jam atau kg/saat. Untuk enjin bahan api dan disel, pengukur yang digunakan ialah gelas buret yang diketahui isipadunya dan kemudian masa dicatatkan bagi enjin menghabiskan kuantiti bahan api tersebut.

Kadar aliran jisim bahan api, \dot{m}_f merupakan jisim bahan api persaat (kg/s) (dalam ujian ini bersamaan 10 cm³ bahan api). Formula yang digunakan adalah seperti berikut:

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_f \times V_f}{t} \quad (\text{kg/s}) \quad (2.4)$$

dengan \dot{m}_f adalah kadar aliran jisim bahan api (kg/s), ρ_f adalah ketumpatan bahan api (g/cm³), V_f adalah isipadu bahan api yang disukat (dalam 100 cm³) dan t adalah masa yang diperlukan bagi enjin dalam menggunakan 100 cm³ bahan api (saat)

2.5.4 Bahan Api Tentu

Ia menunjukkan kuantiti bahan api dalam kilogram yang diperlukan untuk menjana kuasa dalam watt dalam tempoh satu jam pada keadaan beban yang ditimbang. Oleh itu, penggunaan bahan api tentu diungkapkan dalam unit kg/kWjam. Formula bagi parameter ini ialah seperti berikut:

$$p.b.t. = \frac{\dot{m}_f}{KB} \quad (\text{kg/kWJam}) \quad (2.5)$$

2.5.5 Kecekapan Penukaran Bahan Api

Kecekapan terma atau haba kecekapan bagi sebuah enjin merupakan hubungan diantara tenaga dalam bahan api yang terbakar yang berjaya ditukarkan menjadi tenaga haba yang berguna. Tenaga haba yang dibentuk di dalam silinder pula menolak omboh ke atas dan ke bawah supaya bergerak untuk menghasilkan putaran aci engkol. Formula kecekapan terma brek adalah seperti berikut:

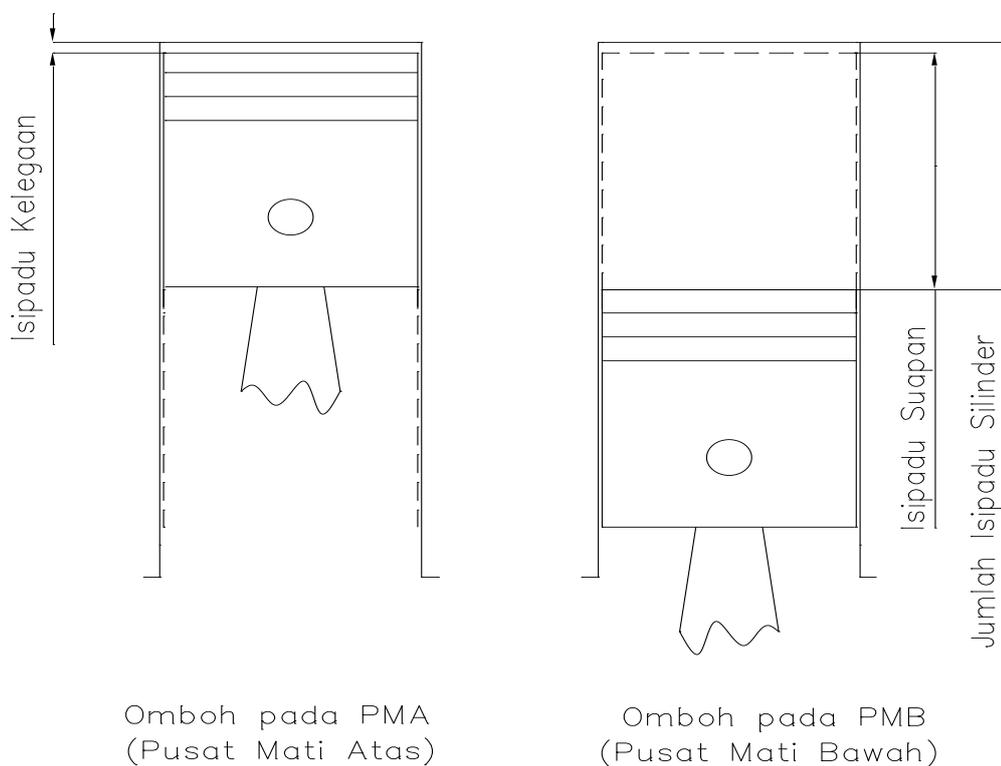
$$\eta_{hB} = \frac{KB}{\dot{m}_f \times NKR} \times 100 \quad (\%) \quad (2.6)$$

dengan η_{hB} adalah kecekapan terma brek (%), KB adalah kuasa brek (J/s), \dot{m}_f adalah kadar aliran jisim bahan api bahan api (kg/s) dan NKR adalah nilai kalori rendah bahan api (J/kg).

2.5.6 Nisbah mampatan

Nisbah mampatan merupakan suatu kuantiti yang amat penting dalam pengubahsuaian enjin untuk menentukan had maksimum pengeluaran kuasa. Nisbah mampatan memberikan pengukuran sebanyak mana campuran udara-bahan api dimampatkan apabila omboh silinder bergerak dari kedudukan pusat mati bawah (PMB) kepada pusat mati atas (PMA). Jumlah isipadu udara dalam silinder semasa omboh pada kedudukan PMB adalah sama dengan isipadu suapan tambah dengan isipadu kelegaan. Manakala jumlah isipadu udara semasa omboh berada pada kedudukan PMA adalah sama dengan isipadu kelegaan.

$$\text{Nisbah mampatan} = \frac{\text{isipadu suapan} + \text{isipadu kelegaan}}{\text{isipadu kelegaan}} \quad (2.7)$$



Rajah 2.1 Nisbah mampatan (Kates 1972)

2.5.7 Nisbah Udara / Bahan Api

Nisbah udara-bahan api merupakan satu parameter yang penting untuk menentukan proses pembakaran adalah lengkap. Nisbah udara bahan api ditakrifkan sebagai nisbah jisim udara kepada jisim bahan api seperti persamaan berikut:

$$\text{Nisbah udara bahan api } (A/F) = \frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bahan.api}}} \quad (2.8)$$

dengan m_{udara} adalah jisim udara (kg) dan $m_{\text{bahan api}}$ adalah jisim bahan api (kg).

Nilai jisim udara yang diperlukan untuk membolehkan pembakaran lengkap berlaku dikenali sebagai nisbah stokiometrik pembakaran. Stokiometrik nisbah udara bahan api dapat menentukan paras gas hidrokarbon dan gas karbon monoksida di dalam gas ekzos. Maka nisbah udara bahan api memainkan peranan sangat penting untuk menentukan kadar gas-gas ekzos yang keluar dari kenderaan.

2.5.8 Nisbah Kesetaraan dan Nisbah Relatif

Nisbah kesetaraan bahan api/udara (*Fuel/Air equivalent ratio*, Φ) merupakan nisbah diantara nisbah udara/bahan api stokiometrik dengan nisbah udara/bahan api sebenar. Persamaannya adalah seperti berikut:

$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{stokiometrik}}}{(A/F)_{\text{sebenar}}} = \frac{(F/A)_{\text{sebenar}}}{(F/A)_{\text{stokiometrik}}} \quad (2.9)$$

dengan:

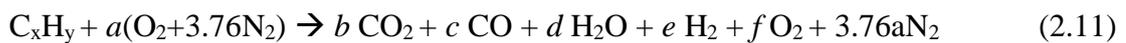
- Φ = Nisbah kesetaraan bahan api/udara
- $(A/F)_{\text{stokiometrik}}$ = Nisbah udara/bahan api stokiometrik
- $(A/F)_{\text{sebenar}}$ = Nisbah udara/bahan api sebenar
- $(F/A)_{\text{stokiometrik}}$ = Nisbah bahan api/udara stokiometrik
- $(F/A)_{\text{sebenar}}$ = Nisbah bahan api/udara sebenar

Manakala nisbah relatif udara/bahan api (*relative air/fuel ratio*, λ) merupakan songsangan kepada nisbah kesetaraan bahan api/udara dan ianya seperti berikut:

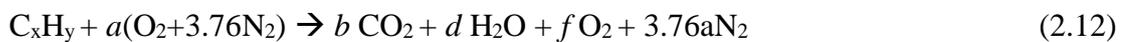
$$\lambda = \frac{1}{\Phi} \quad (2.10)$$

dengan λ adalah nisbah relatif udara/bahan api dan Φ adalah nisbah kesetaraan bahan api/udara.

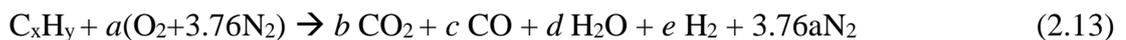
Dengan merujuk kepada nisbah relatif udara/bahan api dan nisbah kesetaraan bahan api/udara, keadaan campuran pembakaran dalam sebuah enjin dapat ditentukan. Keadaan campuran pembakaran dapat diasumsikan seperti berikut :



Campuran bahan api stokiometri atau miskin ($\Phi \leq 1$) menjadi



Campuran bahan api kaya ($\Phi > 1$) menjadi



kerana jumlah pekali a merupakan mol O_2 di tindak balas pada bahan api, ianya boleh berkaitan kepada nisbah kesetaraan dengan menggunakan

$$a = \frac{x + y/4}{\Phi}$$

$$b = x,$$

$$c = 0,$$

$$d = y/2$$

$$e = 0,$$

$$f = \left(\frac{1 - \Phi}{\Phi} \right) (x + y/4)$$

$$N_{TOT} = x + y/2 + \left(\frac{x + y/4}{\Phi} \right) (1 - \Phi + 3.76)$$

$$\chi_{CO_2} = x / N_{TOT},$$

$$\chi_{CO} = 0$$

$$\chi_{H_2O} = (y/2) / N_{TOT},$$

$$\chi_{H_2} = 0$$

$$\chi_{O_2} = \left(\frac{1-\Phi}{\Phi} \right) (x + y/4) / N_{TOT},$$

$$\chi_{N_2} = 3.76(x + y/4) / \Phi N_{TOT},$$

$$K_p = \frac{(P_{CO_2} / P^0)(P_{H_2} / P^0)}{(P_{CO} / P^0)(P_{H_2O} / P^0)} = \frac{b.e}{c.d}$$

$$c = x - b$$

$$d = 2a - b - x$$

$$e = -2a + b + x + y/2$$

$$b = \frac{2a(K_p - 1) + x + y/2}{2(K_p - 1)} - \frac{1}{2(K_p - 1)} \left[(2a(K_p - 1) + x + y/2)^2 - 4K_p(K_p - 1)(2ax - x^2) \right]^{1/2}$$

$$N_{TOT} = b + c + d + e + 3.76 = x + y/2 + 3.76a,$$

$$\chi_{CO_2} = b / N_{TOT},$$

$$\chi_{CO} = c / N_{TOT} = (x - b) / N_{TOT}$$

$$\chi_{H_2O} = d / N_{TOT} = (2a - b - x) / N_{TOT}$$

$$\chi_{H_2} = e / N_{TOT} = (-2a + b + x + y/2) / N_{TOT}$$

$$\chi_{O_2} = 0$$

$$\chi_{N_2} = 3.76a / N_{TOT},$$

2.6 PARAMETER EMISI EKZOS ENJIN DIESEL

Secara umumnya terdapat empat bahan cemar utama yang terhasil daripada proses pembakaran. Bahan cemar tersebut adalah karbon monoksida (CO), hidrokarbon tak

terbakar (UHC) dan akhir sekali oksida nitrogen (NO_x). Sulfur dioksida (SO_2) sebagai hasil pembakaran jika bahan api yang digunakan mengandungi unsur sulfur. Kesemua bahan cemar ini mendatangkan kesan buruk kepada alam sekitar dan kepada kesihatan manusia (M Jaafar et al 2005)

Setiap pembakaran dalam enjin yang dijalankan akan mengeluarkan gas pada ekzos enjin. Keluaran emisi ekzos merujuk kepada hasil pembakaran yang terkandung di dalam hasil ekzos enjin yang akan menyebabkan kesan buruk terhadap persekitaran. Gas ekzos CO_2 itu akan mengakibatkan kesan rumah hijau, hujan asid, dan dapat merosak kesihatan kepada manusia. Jenis gas ekzos yang biasa dijumpai ialah hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x) sulfur, wap air (H_2O), dan partikel-partikel hitam emisi yang lain. Persamaan di bawah ini merupakan tindak balas kimia yang ideal bagi pembakaran bahan api dan penghasilan gas-gas ekzos iaitu :



2.6.1 Hidrokarbon tak terbakar (UHC)

Hidrokarbon tak terbakar yang keluar dalam ekzos merupakan satu sebatan kimia yang terdiri daripada atom karbon dan atom hidrogen. Pembakaran yang tidak lengkap adalah faktor utama terbentuknya emisi hidrokarbon pada enjin kendaraan. Bahan api yang tidak terbakar dengan lengkap pada enjin akan membebaskan hidrokarbon tak terbakar ke atmosfera. Hidrokarbon takterbakar yang dikeluarkan oleh ekzos adalah campuran kompleks bahan api tidak terbakar, proses pengoksigenan dan sebatian bahan teroksida yang terhasil sebagai produk penurunan haba bahan api induk dengan berat molekul yang rendah. Antara kaedah yang dapat mengurangkan emisi UHC adalah dengan kaedah pembaikan pengabusan bahan api di mana kebanyakannya melalui kesan tekanan dan suhu udara masukan yang lebih tinggi yang akan meningkatkan kadar tindak balas kimia dalam zon pembakaran utama (M Nazri et. al, 2002)

Kesan hidrokarbon tak terbakar yang banyak di udara akan menyebabkan pelbagai penyakit kepada manusia, salah satunya ialah kanser. Penyakit kanser ini disebabkan oleh karsinogen yang merupakan hidrokarbon yang berat. Penggabungan antara hidrokarbon dan oksida nitrogen (NO_x) dalam kehadiran cahaya akan mengakibatkan *photochemical smog* yang mendatangkan mudarat pada mata dan sistem pernafasan manusia.

2.6.2 Jelaga

Jelaga terdiri daripada zarah-zarah karbon yang tidak terbakar sepenuhnya. Pancitan bahan api dalam kebuluteraan pembakaran bercampur dengan udara, tetapi campuran ini tidak lengkap pada semua bahagian. Oleh itu, terhasil lebih bahan api pada suhu tinggi. Oleh kerana kekurangan oksigen, penyulingan kering hidrokarbon di dalam bahan api berlaku. Pemisahan hidrogen dan HC menghasilkan karbon. Semasa pembakaran berlaku secara berterusan, karbon ini akan bercampur dengan karbon monoksida sekiranya oksigen mencukupi dan suhu di bawah 1000 °C.

Sekiranya bekalan oksigen tidak mencukupi atau suhu terlalu rendah, zarah karbon kekal dalam bentuk zarah dan kelihatan bersama gas ekzos sebagai asap hitam. Zarah-zarah bercantum untuk membentuk satu butiran kecil di mana jelaga itu tidak membahayakan kesihatan, tetapi bertindak sebagai nukleus pemeluwapan tahap penglihatan dan menghitamkan kawasan sekeliling

2.6.3 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida yang terbentuk dari pembakaran yang tidak lengkap pada enjin, sama dengan punca terbentuknya emisi hidrokarbon. Karbon monoksida, merupakan satu gas yang tidak berwarna, berasa ataupun berbau. CO boleh memberi kesan terhadap sifat-sifat bahan, tumbuhan dan manusia. CO boleh mengakibatkan kesan buruk terhadap '*aerobic metabolism*' manusia, di mana ia boleh menghalang fungsi sel-sel darah merah dalam pemindahan oksigen (Escott, 1993).

Karbon monoksida terhasil dalam jumlah yang banyak pada semua nisbah bahan api udara dan sejumlah besar juga akan dibentuk akibat kekurangan oksigen dalam pembakaran untuk melengkapkan tindak balas kepada CO₂. Pada nisbah bahan api udara yang rendah, suhu selalunya adalah terlalu rendah untuk membentuk CO₂. Pada nisbah bahan api udara zon utama yang tinggi, CO terbakar dengan cepat kepada keadaan keseimbangan, yang mana adalah lebih tinggi daripada nilai piawai emisi yang dibenarkan. Pencampuran udara bahan api yang tidak mencukupi, menghasilkan suatu kawasan di mana kekuatan campuran yang terlalu rendah untuk menampung pembakaran, dan kawasan di mana pembakaran yang lampau kaya menghasilkan kepekatan CO tempatan yang tinggi.

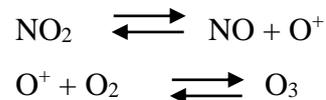
2.6.4 Oksida Nitrogen (NO_x)

Oksida nitrogen bermakna penggabungan di antara unsur oksigen dan nitrogen., dan simbol “x” adalah nombor atom oksida. Pada kebiasaannya, enjin kenderaan akan mengeluarkan 2000 ppm oksida nitrogen apabila enjin dioperasikan. Kebanyakannya wujud sebagai oksida nitrogen (NO), sejumlah kecil merupakan oksida nitrogen (NO_x) dan gabungan ini menjadi Nox.

Pembentukan NO_x adalah disebabkan oleh suhu dan tekanan yang tinggi di dalam enjin pembakaran semasa suhu di dalam enjin mencapai 1300°C pada fasa tertentu semasa operasi pembakaran dalam enjin. Dalam operasi normal pembakaran enjin, bahan api akan terbakar dengan oksigen. Gas nitrogen sepatutnya dibebaskan melalui ekzos kenderaan tanpa perubahan struktur. Tetapi dalam proses pembakaran di dalam enjin yang sebenar, suhu adakalanya akan mencapai 2480°C. Apabila suhu mencapai 1300°C, NO_x akan terbentuk dengan cepat daripada gas nitrogen dan oksigen di dalam campuran udara ini. Pembentukan NO_x hanya bergantung kepada peningkatan suhu selepas 1300°C

Nitrogen oksid (NO_x) merupakan salah satu sebatian yang terbentuk untuk pembentukan *photochemical smog*. Penggabungan diantara hidrokarbon dan oksida nitrogen (NO_x) dalam kehadiran cahaya akan mengakibatkan kesan *photochemical*

smog terjadi. NO_x mempunyai komposisi 97 – 98 % oksida nitrogen dan 2 – 3 % nitrogen dioksida. Secara amnya, oksida nitrogen merupakan gas yang mempunyai warna cerah. Apabila NO keluar daripada ekzos kenderaan, ia akan bergabung dengan oksigen di atmosfera untuk membentuk nitrogen dioksida iaitu gas yang berwarna coklat. Seterusnya NO_2 akan bergabung dengan hidrokarbon yang aktif dengan kehadiran cahaya untuk membentuk *smog* yang akan mendatangkan kemudaratan kepada mata dan sistem pernafasan manusia. Selain itu, cahaya matahari akan memecahkan nitrogen dioksida kepada nitrik oksida (NO) dan oksigen. Gabungan di antara atom oksigen dengan dwi atom oksigen akan membentuk ozon (O_3). Ozon merupakan satu gas yang mendatangkan kesan negatif terhadap paru-paru dan mata manusia.



2.6.5 Sulfur dioksida (SO_2)

Sulfur dioksida terbentuk daripada kuantiti sulfur yang kecil pada minyak bahan api disel di mana kuantiti sulfur yang ada pada bahan api disel ialah kurang daripada 0.1% . Kuantiti sulfur yang kecil ini dibebaskan ke atmosfera melalui ekzos kenderaan dalam bentuk sulfur dioksida.

Pembentukan asid sulfurik daripada emisi SO_2 mendatangkan masalah yang besar kerana asid sulfurik adalah menghakis. Ia akan mengakibatkan kerosakan pada bangunan-bangunan dan hasil pertanian. Selain itu, asid sulfurik juga mendatangkan bahaya terhadap manusia dan haiwan.

2.6.6 Partikel-partikel emisi yang lain

Enjin juga membebaskan partikel-partikel lain seperti kalsium, amonia, besi, karbon dan timah hitam. Partikel emisi terbentuk melalui penggunaan bahan api hidrokarbon dan sebatian anti-hentakan. Sebagai contohnya partikel karbon terbentuk melalui bahan api hidrokarbon.

2.7 KESAN BAHAN TAMBAH TERHADAP PRESTASI DAN EMISI EKZOS

Bahan tambah dikenal pasti sebagai bahan yang mempunyai kecenderungan untuk meningkatkan nombor setana dan menurunkan penundaan pencucuhan pada bahan api disel. Kajian-kajian lepas mengenai penambahan bahan tambah kepada minyak disel telah pun dilakukan oleh banyak penyelidik terdahulu.

Antaranya Yangfeng. Et al. (2006) melakukan ujikaji mencampurkan 2-methoxyethyl acetat (MEA) kepada bahan api disel sebagai bahan tambah. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan enjin disel bersilinder tunggal dengan kadar campuran MEA sebanyak 10%, 15% dan 20% dalam bahan api disel. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa pada kelajuan enjin tetap dan beban berubah didapati penurunan tekanan maksimum dan masa penundaan pencucuhan (*ignition delay*) menjadi lebih singkat. Emisi jelaga, hidrokarbon tak terbakar dan karbon monoksida berkurang berbanding bahan api disel tulen. Pada penambahan MEA sebanyak 15%, jelaga boleh berkurang sehingga 50% dan kecekapan terma meningkat sebanyak 2% berbanding bahan api disel tulen.

Frusteri (2007) telah melakukan kajian dengan menambahkan 1,1-dietoksinetane kepada bahan api disel sebanyak 5%, 10% dan 20%. Penambahan 1,1-dietoksinetane menghasilkan kesan penurunan kepada takat kilat bahan api. Manakala penurunan emisi berlaku kepada ekzos enjin dan peningkatan kadar penggunaan bahan api.

Ajav (1998) melakukan ujikaji terhadap enjin disel silinder tunggal. Beliau mencampurkan bahan api disel dengan etanol yang diwapkan. Hasil kajian ini adalah etanol yang diwapkan boleh mengurangkan penggunaan bahan api disel tentu. Pengewapan etanol boleh meningkatkan kuasa keluaran, kecekapan terma dan emisi ekzos tetapi suhu ekzos dan suhu minyak pelincir menjadi rendah. Pada tahun 1999, Ajav juga menyelidik tentang keseimbangan terma oleh enjin disel silinder tunggal dengan menambahkan etanol kepada bahan api disel. Keseimbangan terma yang dapat dilihat iaitu kerja yang digunakan, haba yang hilang pada pendingin air, haba yang hilang melalui ekzos dan haba yang hilang oleh sistem pelinciran. Penambahan

sebanyak 5 dan 10% etanol kepada bahan api disel tidak menunjukkan perbezaan yang ketara jika dibandingkan dengan bahan api disel biasa tetapi pencampuran sebanyak 15 dan 20% etanol kepada bahan api disel menunjukkan perbezaan yang ketara jika dibandingkan dengan disel biasa.

Huzayyin (2003) telah melakukan ujikaji keatas enjin disel dengan bahan api disel yang dicampurkan dengan minyak jojoba. Hasil daripada ujikaji ini menunjukkan terjadinya penjimatan yang terendah terhadap penggunaan bahan api tentu brek. Manakala penurunan emisi NO_x dan jelaga berlaku dengan mencampurkan minyak jojoba kepada bahan api. Pengurangan emisi jelaga boleh terus meningkat dengan memperbanyak penambahan minyak jojoba kedalam bahan api disel.

Kesan prestasi enjin disel silinder tunggal dengan menggunakan bahan api disel dicampur dengan minyak jatropa telah pun dikaji (Forson, 2003). Kadar bahan tambah minyak jatropa yang dikaji adalah 2.6%, 20%, dan 50% kepada minyak disel biasa. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa campuran minyak jatropa dapat meningkatkan kecekapan terma brek mahupun kuasa enjin dan boleh menjimatkan penggunaan bahan api tentu. Hasil yang paling berkesan ditunjukkan oleh campuran 2.6% minyak jatropa. Ianya menghasilkan nilai kuasa enjin dan kecekapan terma yang maksimum serta penggunaan bahan api tentu yang minimum berbanding bahan api lain pada ujikaji ini. Campuran 2.6% minyak jatropa boleh meningkatkan nombor setana yang akan meningkatkan kecekapan terma brek enjin pada ujikaji ini. Hasil ujikaji ini boleh dibuat kesimpulan tentang minyak jatropa dimana minyak ini boleh digunakan sebagai bahan tambah pemecut pencucuhan (*ignition-accelerator*) bagi bahan api disel.

Lixiau Lu et al telah melakukan ujikaji dengan mencampurkan dimetil karbonat (DMC) kedalam bahan api disel untuk meningkatkan pembakaran pada kebuk enjin dan mengurangkan kadar emisi ekzos enjin. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa DMC boleh menurunkan emisi ekzos enjin disel dan meningkatkan 2 – 3 % kecekapan terma enjin berbanding bahan api disel tulen pada ujian beban tinggi.

Karabektas (2008) telah melakukan ujikaji ke atas kesan isobutanol dicampur dengan bahan api disel terhadap ciri prestasi dan emisi pada enjin disel. Ia menambahkan kadar isobutanol sebanyak 5, 10, 15 dan 20 peratus ke dalam minyak disel pada kelajuan 1200 dan 2800 rpm dengan julat 200 rpm. Data hasil kajian ini dibandingkan dengan bahan api tulen. Hasil pada kajian ini menunjukkan bahawa campuran isobutanol dan bahan api disel boleh menghasilkan campuran yang homogen. Kuasa brek dan kecekapan therma enjin menurun berbanding bahan api disel tulen kerana isobutanol mempunyai nombor setana yang rendah berbanding bahan api disel tulen. Emisi ekzos NO_x dan CO₂ menaik berbanding bahan api disel tulen.

Kesan masa suntikan pada emisi ekzos enjin disel menggunakan campuran bahan api disel metanol telah dikaji oleh Cenk Sayin dan kawan-kawan. Kadar metanol yang ditambahkan adalah sebanyak 0% - 15% dengan julat 5%. Kajian ini dilakukan dengan 3 jenis masa suntikan yang berbeza iaitu 15⁰, 20⁰ dan 25⁰ sudut engkol sebelum PMA dan dengan beban 5Nm, 10 Nm, 15 Nm dan 20 Nm pada putaran 2200Rpm. Hasil kajian ini menunjukkan terjadi kenaikan kadar penggunaan bahan api dan kadar emisi NO_x serta CO₂. Kecekapan terma enjin dan emisi jelaga, CO serta UHC menyusut seiring terencatnya masa suntikan.

Bayraktar (2007) telah melakukan ujikaji terhadap prestasi enjin pencucuhan mampatan menggunakan bahan api campuran minyak disel dengan metanol dan dedocanol. Kadar metanol yang dicampurkan sebanyak 2.5 % sehingga 15% dengan julat 2.5% dan 1% dedocanol ditambahkan pada setiap campuran. Kelajuan enjin yang digunakan adalah 1000 sehingga 1600 Rpm dengan nisbah mampatan yang berbeza-beza iaitu 19, 21,23 dan 25. Kajian ini menyimpulkan bahawa campuran 10% metanol sangat sesuai untuk enjin pencucuhan mampatan. Prestasi enjin yang diperoleh pada campuran sehingga 7% menjadi lebih baik tanpa sebarang pengubahsuaian pada rekabentuk enjin dan sistem bahan api.

Ren (2008) telah melakukan ujikaji keatas kualiti pembakaran dan emisi ekzos campuran bahan api disel oksigenat pada enjin pencucuhan mampatan. Jenis oksigenat yang dicampurkan ada 2 iaitu yang mempunyai nombor setana yang tinggi diglime (*diethylene glycol dimethyl ether*) dan 5 bahan tambah dimetoksi metana, dietil

karbonat, dimetil karbonat, etanol dan dietil adipat yang mempunyai kadar nombor setana yang lebih rendah berbanding bahan api disel tulen. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa terjadi penurunan jumlah jelaga seiring pertambahan kadar campuran pada masing-masing oksigenat dengan tiada bertambah NO_x dan kecekapan terma enjin berbanding bahan api disel tulen.

2.8 OZONIDA ASID OLEIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH

Wahyudi (2007) telah melakukan ujikaji keatas kesan tambah bahan ozonida asid oleik yang dicampurkan dengan bahan api petrol terhadap prestasi dan emisi ekzos pada enjin pencucuhan bunga api dengan kadar bahan bertambah sebanyak 0.2 peratus. Hasil daripada ujikaji ini menunjukkan terjadinya peningkatan prestasi enjin dan penjimatan penggunaan bahan api sebanyak 4.2 peratus berbanding bahan api petrol biasa. Pada emisi ekzos campuran bahan api dengan ozonida asid oleik juga terjadi penurunan berbanding emisi ekzos bahan api petrol biasa.

Sifat, prestasi dan emisi ekzos bahan api campuran minyak disel asid lemak metil ester telah pun dikaji oleh Duran et al. Asid lemak metil ester dihasilkan dari pada tindak balas minyak asid lemak dengan metil alkohol. Asid lemak yang dicampur mengandungi 52.7% asid oleik. Campuran bahan api disel asid lemak diuji pada enjin disel suntikan terus dengan beban penuh. Kajian ini menunjukkan bahawa bahan api campuran boleh meningkatkan tork dan kuasa keluaran sebanyak masing-masing 6.1 % dan 5.9%. Kadar emisi CO susut sehingga 3.8 % dan kadar NO_x meningkat sebanyak 30% berbanding bahan api disel tulen. Hasil kajian ini dapat dibuat kesimpulan bahawa bahan api campuran ini boleh digunakan sebagai bahan api alternarif tanpa mengubahsuai enjin disel.

Selain berguna untuk meningkatkan prestasi enjin dan mengurangkan emisi ekzos, asid lemak juga boleh digunakan sebagai bahan tambah kepada kelinciran

bahan api. Daniel P.G et al telah melakukan unjika ke atas kesan bahan tambah asid lemak metil ester kepada kelinciran bahan api disel.

2.9 RUMUSAN

Rumusan daripada kajian literatur ini adalah kesan bahan tambah sebagai bahan api alternatif di dalam bahan api disel yang sangat mempengaruhi pembakaran bahan api. Ia dapat menyumbang kepada pembakaran bahan api yang lebih baik. Fenomena ini juga berkesan mengurangkan kesan emisi ekzos. Oleh kerana berlakunya penambahan bahan tambah, maka kadar pengeluaran emisi gas yang bahaya seperti NO_x dan CO menjadi menurun. Bahan api yang mengandungi oksigen dapat memberikan sumbangan kepada peningkatan prestasi enjin. Beberapa kajian lepas mendapati bahawa penggunaan bahan tambah dapat meningkatkan kuasa brek dan tork serta penjimatan bahan api tentu enjin, seiring dengan kenaikan kualiti bahan api iaitu kenaikan nombor setana dan kecekapan pembakaran bahan api.

Sebatian asid lemak dapat digunakan sebagai bahan tambah pengubahsuaian geseran dan anti-kehausan. Prestasi daripada bahan tambah yang berasaskan asid lemak ini dapat mengurangkan penggunaan bahan api tentu apabila ianya dicampurkan dengan kadar yang bersesuaian kepada minyak pelinciran mahupun bagi bahan api.

BAB III

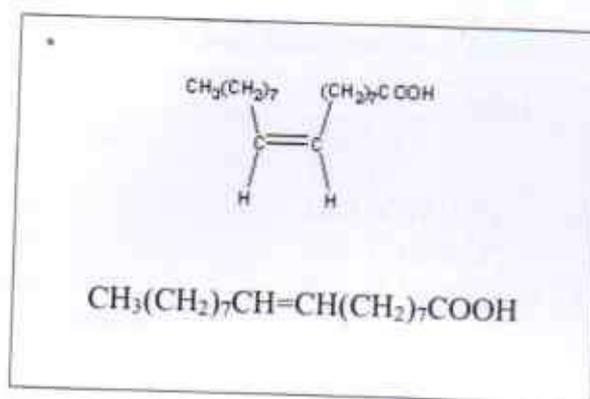
KARAKTERISTIK DAN SIFAT BAHAN TAMBAH

3.1 PENDAHULUAN

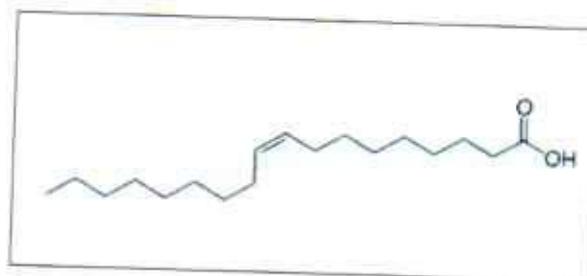
Bab ini memaparkan tentang sifat-sifat dan pencirian daripada bahan tambah oksigenat asid oleik. Kaedah penyediaan bahan api dan bahan tambah serta kaedah-kaedah pengujian bahan api merangkumi nilai kalori, ketumpatan dan kelikatan.

3.2 ASID OLEIK

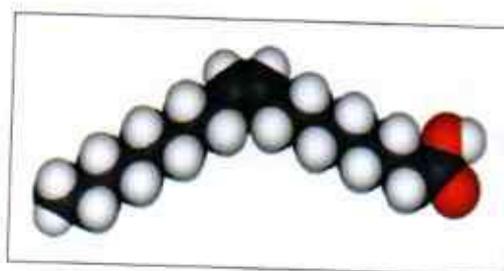
Asid oleik juga dipanggil *asid cis-9-oktadekanoik* yang mana banyak dijumpai di dalam minyak haiwan dan minyak sayuran. Ia juga dikenali sebagai asid lemak monotaktepu kerana terdapat ikatan dwi tunggal diantara atom karbon. Ikatan dwi yang terdapat pada acid lemak kebiasaanya adalah dalam konfigurasi *cis* yang menyebabkan molekul tersebut terbengkok atau melengkung. Di samping itu juga, ia menyebabkan molekulnya lebih fleksibel berbanding asid lemak tepu. Sifat-sifat fizikalnya boleh ditunjukkan dengan nombor, geometri, dan posisi ikatan dubel darjah ketepuan (Abdullahi S 2005). Rajah 3.1, Rajah 3.2 dan Rajah 3.3 menunjukkan struktur sebenar asid oleik.



Rajah 3.1 Struktur ringkas asid oleik



Rajah 3.2 Struktur asid oleik



Rajah 3.3 Struktur grafik molekul asid oleik

Asid lemak tepu yang mempunyai rantai lurus biasanya wujud dalam bentuk pepejal pada suhu bilik tetapi berlainan pula dengan asid lemak taktepu. Struktur asid oleik yang bengkok dapat menghalang daripada penghabluran dan sifat ini menyebabkan asid oleik wujud dalam bentuk minyak atau cecair pada suhu bilik. Sifat-sifat kimia dan fizik lain yang wujud pada asid oleik ditunjukkan di dalam Jadual 3.1.

Jadual 3.1 Sifat-sifat fizik dan kimia asid oleik.

Sifat	Nilai
Formula Molekul	$C_{18}H_{34}O_2$
JMR	282.47
Takat Lebur	16.3 °C (61 °F)
Takat Didih	360 °C (680 °F)
Ketumpatan	862.21 kg/m ³ pada 20 °C
Kelikatan Kinematik	6.98 mm ² /s
Warna	Kuning pucat
Bentuk	Cecair
Keterlarutan	Tidak larut dalam air

Sumber: Juliana (2002)

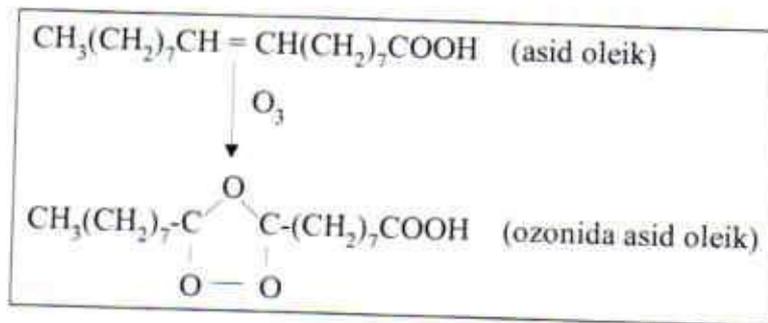
3.3 KAEDAH PENYEDIAAN BAHAN API DAN BAHAN TAMBAH

3.3.1 Ozonolisis

Proses ozonolisis merupakan cara untuk membuat belahan oksida pada ikatan dubel iaitu C=C. Ozonida asid oleik boleh dihasilkan daripada tindakbalas pengoksidaan menggunakan ozon. Menurut Pine et al. (1994) pada suhu rendah ozon akan mengalami penambahan pada ikatan dubel alkena untuk membentuk molozonida yang kemudian dengan cepat akan mengalami penyusunan semula kepada ozonida.

Ozon wujud dalam struktur empat resonan. Struktur tersebut menunjukkan bahawa ozon merupakan molekul neutral yang mempunyai kedua-dua cas positif dan negatif. Berdasarkan struktur tersebut, ozon dijangkakan berkelakuan seperti elektrofil dan nukleofil. Walau bagaimanapun, ia lebih kepada elektrofilik berbanding nukleofilik. Oleh sebab itu, ozon yang bertindak balas akan menyerang ikatan dubel pada asid oleik dimana ikatan tersebut lebih bersifat nukleofilik (Pine et al. 1994).

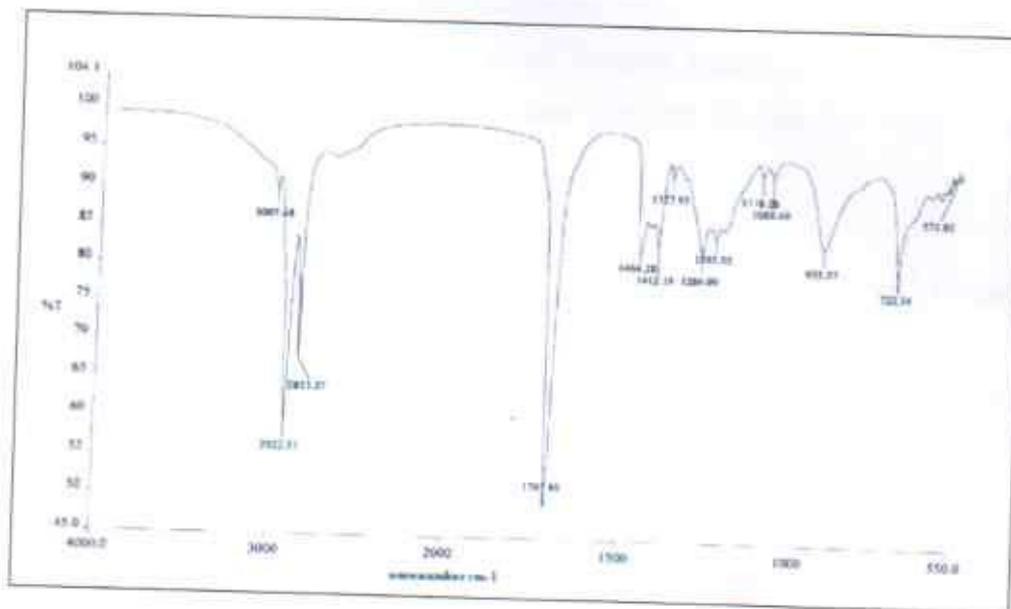
Abdullahi S (2005) telah melakukan ujikaji pembuatan ozonida asid oleik dengan cara menyalurkan ozon secara berterusan di dalam larutan asid oleik dengan pemanasan pada suhu rendah iaitu 125°C. Hasilnya, ozon akan mengalami penambahan pada bahagian dubel pada ikatan dan membentuk ozonida. Rajah 3.4 menunjukkan tindak balas yang berlaku pada asid oleik semasa ozonolisis serta hasil yang terbentuk.



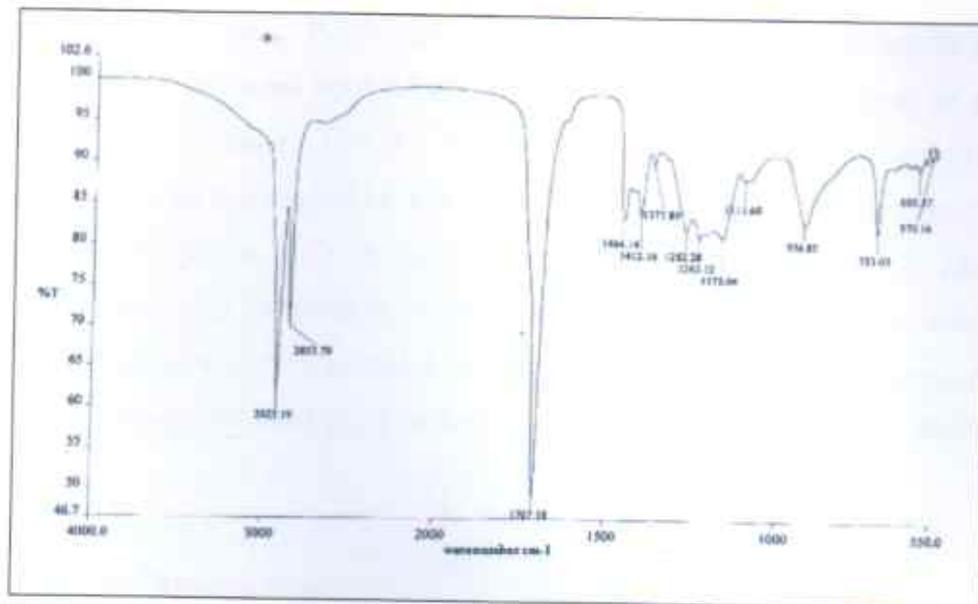
Rajah 3.4 Persamaan tindakbalas asid oleik dengan ozon

3.3.2 Analisis FTIR

Hasil analisis yang diperoleh melalui kaedah FTIR adalah seperti yang digambarkan dalam Rajah 3.6. manakala Rajah 3.5 menunjukkan spektrum bagi asid oleik sebenar bagi tujuan perbandingan.



Rajah 3.5 Spektrum inframerah asid oleik



Rajah 3.6 Spektrum inframerah asid oleik selepas proses ozonolisis

Daripada data-data frekuensi yang diserap oleh setiap kumpulan berfungsi dalam spektrum inframerah dan kehadiran puncak utama iaitu ikatan C=O, analisis telah dijalankan untuk mengenalpasti kumpulan berfungsi yang hadir dan seterusnya mengesahkan kewujudan ozonida asid oleik. Dengan membuat perbandingan antara spektrum inframerah bagi asid oleik sebenar sebelum diozonolisis dengan sampel selepas tindak balas didapati bahawa:

- Terdapat sedikit perubahan pada jalur gelombang 1500 cm^{-1} hingga 550 cm^{-1} .
- Berlaku pemendekan puncak di sekitar jalur gelombang 1500 cm^{-1} hingga 1100 cm^{-1} .
- Pemanjangan puncak pada jalur gelombang 935.57 cm^{-1} .
- Kemunculan dua puncak yang terlihat pada jalur gelombang 1707 cm^{-1} dan 2922 cm^{-1} .
- Kehilangan puncak pada penyerapan frekuensi 3005.68 cm^{-1} selepas proses ozonolisis dilakukan.

Berdasarkan kajian kepustakaan yang telah dilakukan, didapati bahawa puncak yang setara dengan jalur gelombang 1707 cm^{-1} merupakan ikatan C=O bagi asid karboksilik dan 2922 cm^{-1} pula merupakan ikatan-ikatan C-H yang terikat hadir di

dalam ozonida asid oleik. Perubahan yang paling ketara adalah kehilangan puncak penyerapan pada frekuensi 3005.68 cm^{-1} kerana puncak tersebut merupakan puncak bagi ikatan C-H di dalam C=C-H. Kehadiran puncak pada penyerapan frekuensi 1175.04 cm^{-1} telah membuktikan kehadiran ozon di dalam larutan kerana puncak tersebut mewakili ikatan C-O. Ini jelas menunjukkan bahawa ikatan dubel pada asid oleik telah pecah dan membentuk ozonida asid oleik. Walaupun tindak balas tidak bertukar sepenuhnya namun ia sudah cukup untuk mengesahkan kehadiran ozon di dalam tindak balas dan hasil yang terbentuk adalah ozonida asid oleik (Abdullahi S 2005).

3.3.3 Teknik Pencampuran

Bahan api yang digunakan dalam penyelidikan ini ialah bahan api diesel biasa yang di diperolehi daripada stesen minyak yang ada di Bangi. Bahan tambah asid oleik yang dibentuk melalui proses pemanasan pada suhu $125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ serta diozonkan untuk memecah ikatan dubel C=C dan menambah kandungan oksigen dalam bahan tambah tersebut supaya bahan tambah yang terbentuk akan kaya oksigen yang mana akan meningkatkan kualiti pembakaran apabila ianya ditambahkan pada bahan api diesel biasa. Kaedah pencampuran dilakukan secara sederhana iaitu seperti berikut:

1. Bahan api diesel yang terdapat di dalam 5 buah kelalang isipadu masing-masing 998 ml, 996 ml, 994 ml, 992 ml dan 990 ml disediakan.
2. Kelalang isipadu yang telah diisi minyak diesel tadi dicampurkan dengan asid olek sebanyak masing-masing 0.2% (2 ml), 0.4% (4 ml), 0.6% (6 ml), 0.8% (8 ml) dan 1% (10ml) dengan menggunakan picagari.
3. Bahan api diesel yang telah bercampur bahan tambah (mengikut isipadu) dikacau selama 10 minit dengan menggunakan alat pencampur dan magnetik bar. Itu dilakukan bagi memastikan campuran boleh tercampur secara baik.
4. Bahan yang telah di campur kemudian disimpan dalam tong untuk digunakan dalam ujian.



Rajah 3.7 Gambar Asid oleik sebelum proses ozonolisis



Rajah 3.8 Gambar bahan tambah asid oleik selepas proses ozonolisis

3.4 UJIAN NILAI KALORI MENGGUNAKAN BOMB KALORI

Ujian nilai kalori yang dijalankan dengan menggunakan sistem kalorimeter model kawalan C5000 ditunjukkan seperti dalam Rajah 3.9. Kaedah pengukuran nilai kalori ini berdasarkan kepada piawai DIN 51900, BS 1016 bahagian 5 1977, ASTM D3286-91, ASTM E711-87, ISO 1928-1976, ASTM D 1989-1991 dan BSI. Prosedur pengukuran secara automatik dan kerja boleh dijalankan berdasarkan keadaan adibatik, isoperibolik, ataupun prinsip dinamik. Selain itu, nilai kalori boleh diukur dalam pelbagai unit, iaitu joule/g, cal/g dan KWH/kg. Demi mengoptimumkan proses pembakaran, perlu dipastikan bahawa bekas penguraian diisi penuh dengan oksigen tulen (99.95%). Tekanan atmosfera oksigen dalam bekas penguraian juga perlu ditetapkan pada 30 bar.



Rajah 3.9 gambar kalorimeter bom model kawalan C5000

3.4.1 Penentukuran Kalorimeter

Sebelum memulakan ujikaji dengan menggunakan sistem kalorimeter model kawalan C5000, penentukuran perlu dijalankan bagi mendapatkan nilai muatan haba ataupun nilai C bagi sistem kalorimeter tersebut. Penentukuran ini dijalankan dengan menggunakan asid benzoik sebagai sampel ujikaji. Didapati bahawa nilai kalori bagi asid benzoik 26457 J/g dan nilai kalori asid benzoik ini digunakan sebagai nilai rujukan bagi menentukan nilai C sistem kalorimeter. Daripada penentukuran yang telah dijalankan, didapati bahawa nilai C bagi sistem kalorimeter adalah $10,777 \text{ J/K}$. Hasil ujian dan pengiraan daripada penentukuran dapat dirujuk pada Lampiran C.

Jadual 3.2 Keputusan Ujian penentukuran nilai kalori menggunakan kalori meter dalam makmal

Ujian	Jisim, m (g)	Muatan Haba, C (J/K)	Nilai Kalori, H (J/g)
1	0.9966	10,744	26,460
2	0.9964	10,768	26,460
3	0.9933	10,758	26,460
4	0.9946	10,783	26,460
Purata		10,763	26,460

3.4.2 Penyediaan Bahan Ujikaji Nilai Kalori

Sebelum memulakan ujikaji dengan menggunakan sistem kalorimeter model kawalan C5000, bahan sampel mesti disediakan untuk mempermudah proses memasukkan sampel ke dalam bekas penguraian. Ini bagi mengelak terjadinya pengewapan yang lebih banyak pada bahan api semasa penimbangan.

Alat radas yang digunakan untuk penyediaan bahan ujian kalorimeter adalah sebagai berikut:

1. Botol sampel (5 ml) bagi ujian kalorimeter
2. Picagari 5 ml dan 10 ml
3. Alat penimbang

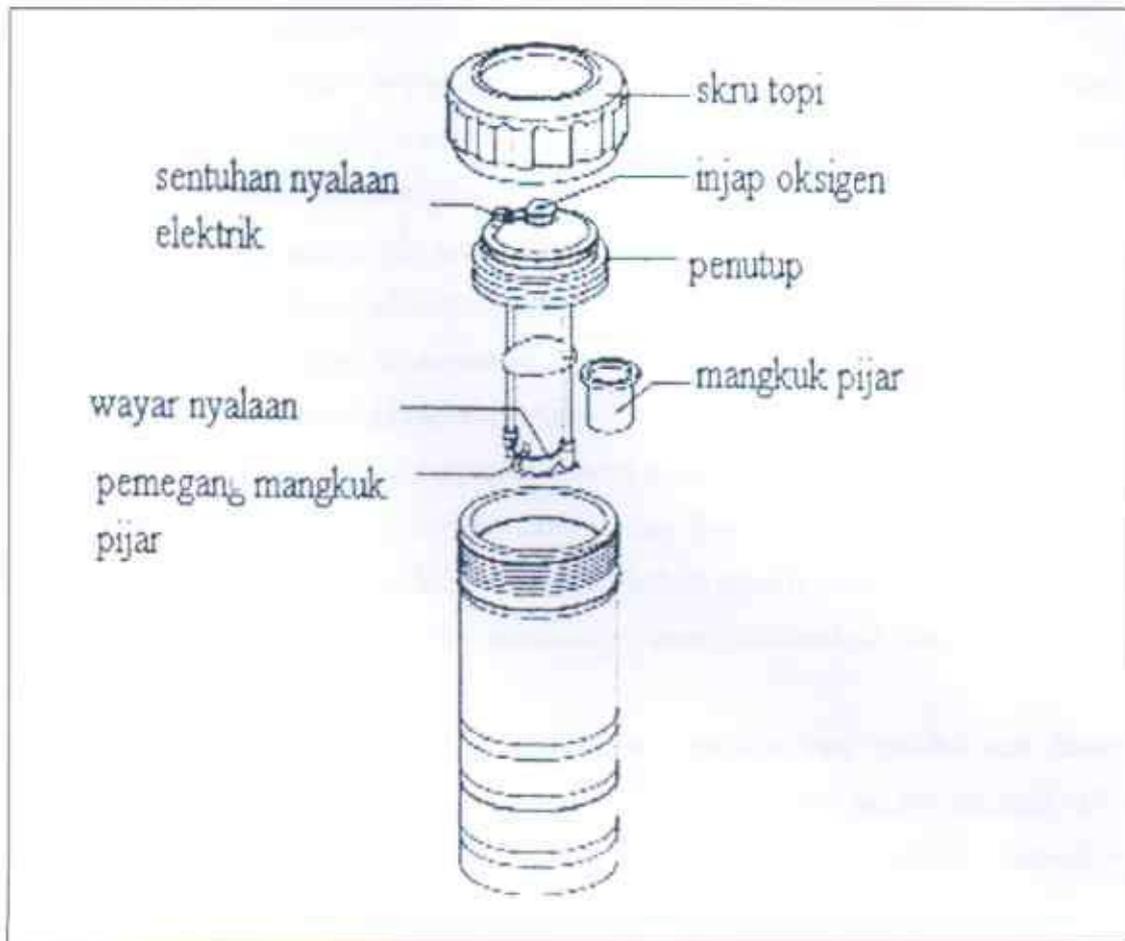
Bahan yang terdapat dalam botol sampel disedut menggunakan picagari sebanyak 5 ml. Mangkuk pijar diletak untuk ditimbang (jisim mangkuk pijar ditolak terlebih dahulu bagi memudahkan penentuan berat sampel). Bahan yang terdapat di dalam picagari di suntikkan secara perlahan-lahan ke dalam mangkuk pijar bagi mengelak kelebihan berat sampel (jisim sampel adalah 1 g). Setelah berat sampel mencapai 1 g, benang kapas direndamkan ke dalam sampel. Sampel dalam mangkuk pijar yang sudah ditimbang tadi dimasukkan ke dalam bekas penguraian.

3.4.3 Bahagian Bekas Penguraian

Prosedur bagi menjalankan ujikaji adalah seperti berikut :

1. Buka skru penutup bekas penguraian dan keluarkan penutup dengan menggunakan alat bantu pemegang.
2. Isikan 5 ml air suling ke dalam bekas penguraian. Pastikan kuantiti air yang diisi pada setiap kali ujikaji adalah sama.
3. Masukkan sampel ke dalam mangkuk pijar (menggunakan picagali), kemudian timbangkan berat sampel bersama mangkuk pijar (untuk penjelasan lebih terperinci rujuk para 3.5.2).
4. Ikatkan benang kapas pada wayar pencucuh, sebahagiannya direndamkan dalam sampel ujikaji.

5. Sampel yang bersentuhan dengan benang kapas dimasukkan ke dalam bekas penguraian, lalu tutupkan bekas penguraian dengan skru penutup. Untuk teknik pemasangan mangkuk pijar pada bekas penguraian secara rinci dapat dilihat dalam Rajah 3.10.



Rajah 3.10 Teknik pemasangan mangkuk pijar pada bekas penguraian

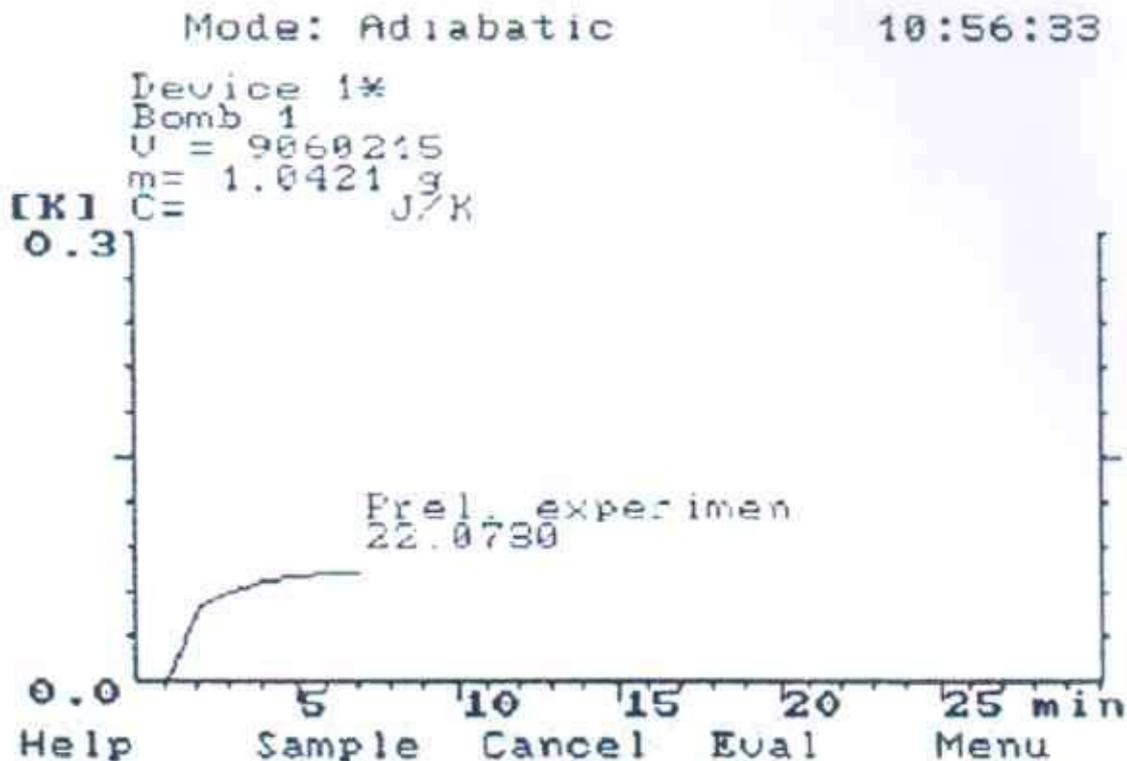
Sumber: Staufen (1998)

3.4.4 Bahagian Perisian Kalorimeter

Langkah-langkah yang dilakukan semasa menggunakan perisian kalorimeter dapat dijelaskan seperti berikut:

1. Selepas kalorimeter dihidupkan, tekankan kekunci *OK* pada skrin permulaan yang terpamer untuk mengenalpasti skrin ini. Tunggu lebih kurang 30 minit supaya suhu sel pengukuran menjadi stabil.

2. Pada bahagian menu buka sistem, maklumat seperti tahun, bulan, hari jam, minit dan saat perlu ditentukan. Nombor siri berdasarkan tarikh ini digunakan untuk menyimpan data bagi ujikaji yang dijalankan.
3. Segala menu boleh dipilih melalui skrin utama. Untuk meneruskan ujian tekan kekunci *sample*, kemudian masukkan nilai berat sampel ujikaji, Selepas itu masukkan juga maklumat pada bahagian *User* sebagai nama pengguna.
4. Skrin seterusnya akan terpamer, tunggu sehingga mesej *waiting stable* keluar. Sekiranya mesej *waiting unstable* terkeluar dalam skrin, bekas penguraian tidak boleh dimasukkan dan ujian tidak dapat diteruskan.
5. Masukkan bekas penguraian pada sel penutup pengukuran. Setelah mesej *Bomb* ↓ bertukar kepada *Start*, tekanlah *Start*. Bahagian sel pengukuran akan ditutupkan dan bekas penguraian dimasukkan ke dalam bekas dalaman. Kemudian gas oksigen (30 bar) akan dibekalkan. Apabila sistem bermula, skrin graf suhu (K) melawan masa (min) akan terpamer seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.11. Tempoh pembakaran yang berlaku lebih kurang dalam 15 minit.
6. Setelah ujian selesai, skrin keputusan akan keluar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.12. Kemudian bekas penguraian akan diudarakan dan penutup sel pengukuran akan dibuka.
7. Untuk memastikan keputusan adalah tepat, pastikan sisa pembakaran dalam mangkuk pijar, bahan sampel dan benang kapas terbakar secara lengkap. Jika wujud sebarang pembakaran tak lengkap, ujikaji perlu diulang semula. Kemudian cetakkan keputusan pada skrin dengan menekan kekunci *space bar*.



Rajah 3.11 Graf suhu (K) melawan masa (min) bagi bahan api

Sumber: Staufen (1998)

```

Mode: Adiabatic 11:26:12
[.]==== Formular ==== i=[+]
      02.06.1999 11:26

MEASURING PROTOCOL 9060220
=====

Cell: 1 Bomb No. 1
Sample : 9060220
User :
Sample properties :

Date of experim. : 02.06.1999
Start time of experim. : 11:23
Mode : Adiabatic
State : End

Sample mass : 1.2345 g
Temperature increase : 3.0000 K
Extraneous energy : 120.00 J

C value : 10629 J/K
Ho (an) : 25732 J/g

Help | Print:SPACE Close:OKAY

```

Rajah 3.12 Keputusan yang terhasil daripada ujikaji bagi bahan api

Sumber: Staufen (1998)

Jadual 3.3 Keputusan Ujian nilai kalori bakar pada campuran bahan api diesel

Kadar bahan Tambah (%)	Nilai Kalori	
	Kiraan (MJ/g)	Ujikaji (MJ/g)
0	45.61	45.61
0.2	45.66	45.67
0.4	45.65	45.71
0.6	45.63	45.68
0.8	45.62	46.05
1	45.61	45.67
2	45.55	45.92
3	45.48	45.79
4	45.42	45.64
5	45.35	45.86
100	39.31	39.31

3.5 UJIAN KETUMPATAN

Ketumpatan tentu bahan api adalah perbandingan antara jisim bahan api dengan jisim air mineral semulajadi pada isipadu dan suhu yang sama. Untuk mengukur ketumpatan ini dapat digunakan alat seperti hidrometer. Selain itu juga dengan cara menggunakan alat yang disebut piknometer iaitu botol ketumpatan tentu.

Pada ujian ini, piknometer berjenama EXELO digunakan dengan isipadu 10 ml seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.13. Manakala alat penimbang yang digunakan adalah METTLER TOLEDO dengan kejituan sehingga 10^{-4} gram seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.14. Kaedah yang dilakukan di dalam pengukuran ini adalah menguji sampel bahan yang isipadunya sama dengan air mineral semulajadi dan ditimbang secara terpisah pada suhu bilik yang sama iaitu 20°C . Perbandingan jisim pada suhu tersebut merupakan ketumpatan jenis daripada sampel.

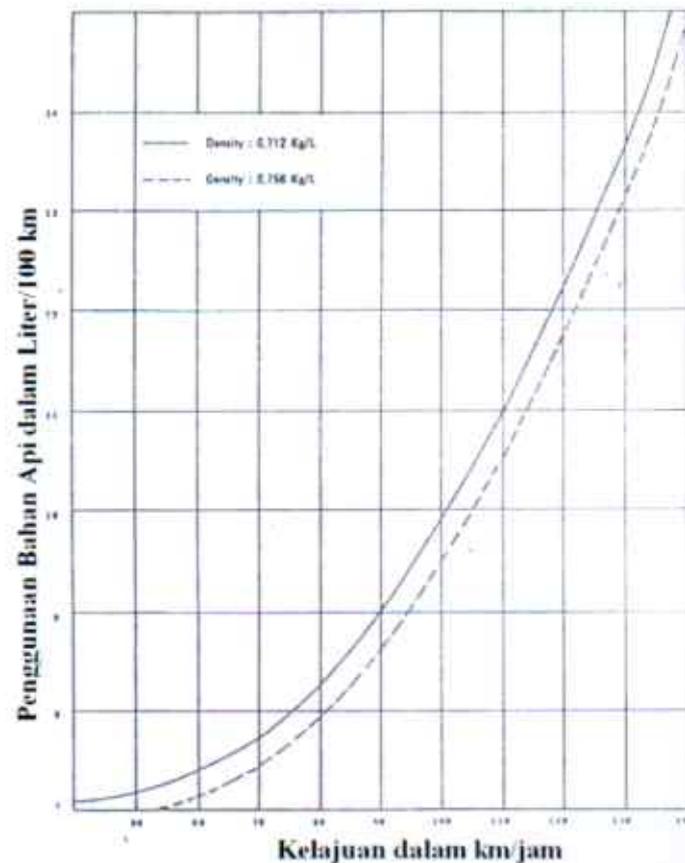


Rajah 3.13 piknometer 10 ml



Rajah 3.14 Alat penimbang

Pada ujian perbandingan ketumpatan enam jenis bahan api diperolehi hasil seperti yang dilihat pada Jadual 3.4. Daripada rajah tersebut dilihat bahawa bahan api mempunyai ketumpatan lebih kecil (712 kg/m^3) pada enjin kenderaan setelah menempuh 100 km, ini menunjukkan penggunaan bahan api yang lebih besar berbanding bahan api dengan nilai ketumpatan yang lebih besar (756 kg/m^3). Hal ini disebabkan ketumpatan bahan api yang rendah juga mempunyai jisim yang lebih ringan pada isipadu yang sama. Ini menunjukkan bahawa perubahan pada ketumpatan bahan api akan mempengaruhi kuasa keluaran enjin disebabkan oleh perbezaan jisim bahan api yang di suntik. ketumpatan juga mempengaruhi penggunaan bahan api kerana sistem suntikan bahan api enjin disel di ukur secara isipadu (E Alptekin 2008; Anton L Wartawan 1997).



Rajah 3.15 Pengaruh ketumpatan jenis terhadap penggunaan bahan api pada enjin 4 silinder (1618 cc)

Ketumpatan rendah daripada bahan api mempunyai tenaga lebih sedikit daripada bahan api yang berjisim sama dengan ketumpatan lebih tinggi. Ini bermakna

bahawa bahan api dengan ketumpatan lebih tinggi biasanya akan menghasilkan tenaga lebih besar ketika terbakar. Hasilnya lebih sedikit bahan api yang dimasukkan bagi keperluan penghasilan kuasa yang sama besarnya dengan bahan api yang mempunyai ketumpatan yang lebih rendah.

Jadual 3.4 Keputusan ujian ketumpatan pada campuran bahan api diesel

Kadar Bahan Tambah (%)	Ujikaji Ketumpatan (g/cm ³)
0	0.813
1	0.819
2	0.821
3	0.823
4	0.828
5	0.834
100	0.814

3.6 UJIAN KELIKATAN

Kelikatan sesuatu bahan api ialah sukatan merintang alirannya (yang susut secara pantas dengan peningkatan suhu). Kelikatan menunjukkan kekentalan suatu bendalir. Apabila 2 buah bendalir yang mempunyai kelikatan berbeza dicampurkan secara fizik, maka kelikatan bendalir campuran memiliki nilai antara kelikatan kedua bendalir tersebut.

Ujian kelikatan ini menggunakan alat RHEOMETER VT 550 Rajah 3.16 dan 3.17 dengan menggunakan penderia NV. Penderia NV digunakan untuk mengukur kelikatan rendah seperti minyak dan dengan julat kadar rincih sedang.

3.6.1 Penyediaan Bahan Ujikaji Nilai Kelikatan

Sebelum memulakan ujikaji dengan menggunakan sistem rheometer model kawalan VT550, bahan sampel mesti disediakan untuk memudahkan proses memasukkan sampel ke dalam bekas penguraian. Alat radas yang digunakan untuk penyediaan bahan ujian kalorimeter adalah seperti berikut:

1. Botol sampel bagi ujian kelikatan

2. Picagari
3. Kelalang berisipadu 10ml

Bahan yang terdapat dalam botol sampel disedut menggunakan picagari. Bahan yang terdapat di dalam picagari disuntikkan secara perlahan-lahan ke dalam tetabung jenis penderia NV sebanyak 100ml. Tetabung yang sudah berisi sampel dimasukkan ke dalam rheometer VT 550 dan ujikaji boleh mula dijalankan.

3.6.2 Bahagian perisian rheometer VT 550

Langkah-langkah yang dilakukan semasa menggunakan perisian rheometer dapat di nyatakan seperti berikut :

1. Selepas rheometer VT550, haake K20, dan hakee DC 30 sebagai penderia suhu dan komputer di hidupkan, aktifkan perisian rheometer dengan mengklik rheometer winjob manager yang terdapat dalam komputer.
2. Setelah rheometer winjob aktif, klik file dan pilih new job.
3. Klik device setting untuk menetapkan penggunaan rheometer VT550 dan sensor NV serta thermo controller
4. Klik measurement element untuk mengatur pusingan pada rheometer dan suhu dengan meletakkan CS/CR rotation map dan temperature setting pada job elemen
5. Set CS/CR kepada 100 – 125 /s dan set suhu kepada 40 °C
6. Pasangkan tetabung yang telah berisi sampel pada rheometer VT550
7. Setelah itu klik start untuk menjalankan ujikaji
8. Setelah sampel mencapai suhu 40 °C, pusingan rheometer VT550 akan berhenti dan data yang kita dapat disimpan.
9. Kita dapat melihat data yang diperoleh dengan membuka rheowin data manager
10. Setelah rheowin data manager dibuka, klik kanan pada quantiti dan pilih ikon τ (kelikatan dinamik)



Rajah 3.16 alat rheometer haake



Rajah 3.17 tetabung yang di gunakan pada rheometer haake

Jadual 3.5 Keputusan ujian kelikatan pada campuran bahan api diesel

Kadar Bahan tambah (%)	Kinematic Viscosity	
	Kiraan (mm ² /s)	Ujikaji (mm ² /s)
0	4.07	4.07
1	4.10	4.49
2	4.13	3.98
3	4.16	4.35
4	4.19	4.09
5	4.22	4.38
Add	6.98	6.98

3.6 KESIMPULAN

Daripada kajian dan ujian terhadap karakteristik bahan dapatlah diambil beberapa kesimpulan iaitu:

1. Daripada analisis FTIR telah menunjukkan bahawa ikatan dwi pada asid oleik telah pecah dan membentuk ozonida asid oleik. Walaupun tindak balas tidak bertukar sepenuhnya namun ia sudah cukup untuk mengesahkan kehadiran ozon di dalam tindak balas dan hasil yang terbentuk adalah ozonida asid oleik.
2. Nilai kalori bahan oksigenat adalah 39310 J/g. Akan tetapi selepas pencampuran didapati hasil ujian nilai kalori bahan api bahan api diesel oksigenat mengalami peningkatan yang tidak bererti. Nilai kalori bahan api diesel dicampur bahan tambah meningkat berbanding nilai kalori bahan api diesel biasa (Jadual 3.3)
3. Daripada hasil ujian ketumpatan didapati bahawa terjadi peningkatan ketumpatan bahan api diesel bahan tambah seiring dengan bertambahnya bahan tambah.berbanding bahan api diesel biasa (Jadual 3.4)
4. Daripada hasil ujian kelikatan didapati bahawa peningkatan kelikatan bahan api diesel bahan tambah berbanding bahan api diesel biasa (Jadual 3.5)

BAB IV

KAEDAH UJIAN

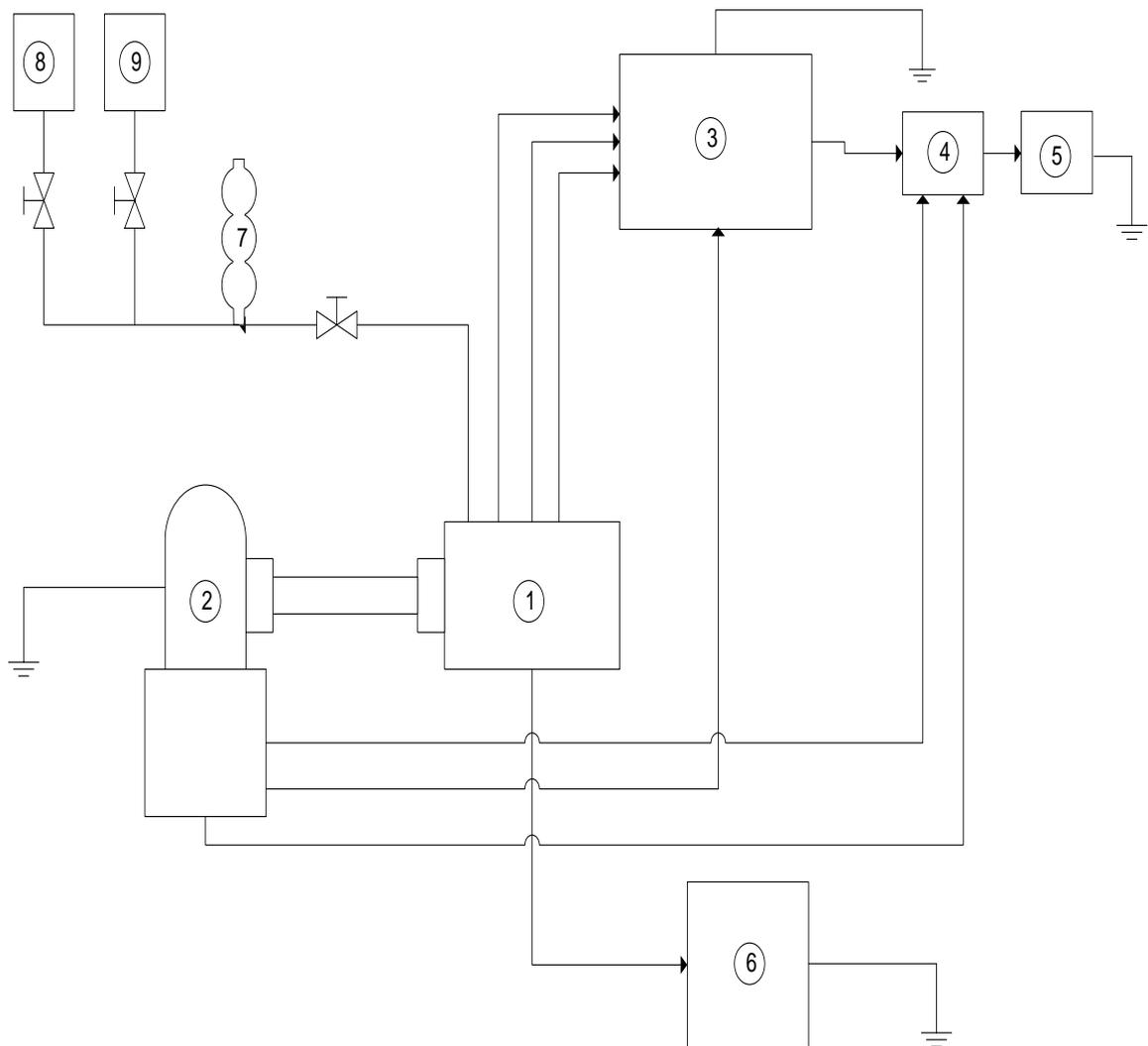
4.1 PENDAHULUAN

Prestasi dan emisi gas buang yang dihasilkan enjin diesel silinder tunggal dengan menggunakan bahan api diesel dan bahan api campuran diesel dengan bahan tambah perlu diketahui. Alat radas diperlukan untuk mengetahui parameter-parameter prestasi dan emisi gas buang yang akan diujikaji. Dalam pengiraan prestasi dan emisi gas buang dilakukan dengan 10 keadaan iaitu pengiraan prestasi dan emisi gas buang menggunakan bahan api diesel tanpa bahan tambah, pengiraan prestasi dan emisi gas buang enjin pada bahan api diesel dicampur dengan 1 %, 2%, 3 %, 4% dan 5 % bahan tambah.

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang parameter-parameter yang diperolehi untuk mendapatkan nilai prestasi dan emisi gas ekzos, kaedah yang akan digunakan bagi mendapatkan nilai parameter-parameter yang diinginkan, serta cara penggunaan alat radas yang akan digunakan dalam ujikaji ini.

4.2 KELENGKAPAN UJIKAJI ENJIN

Alat ujikaji enjin yang digunakan dalam ujikaji ini iaitu enjin diesel silinder tunggal. Rajah-rajah dibawah ini menunjukkan bahagian utama dari enjin yang digunakan untuk ujikaji. Bahagian utama itu ialah enjin diesel silinder tunggal, dinamometer eddy curren, sistem unit kawalan, sistem bahan api dan penganalisis emisi ekzos.

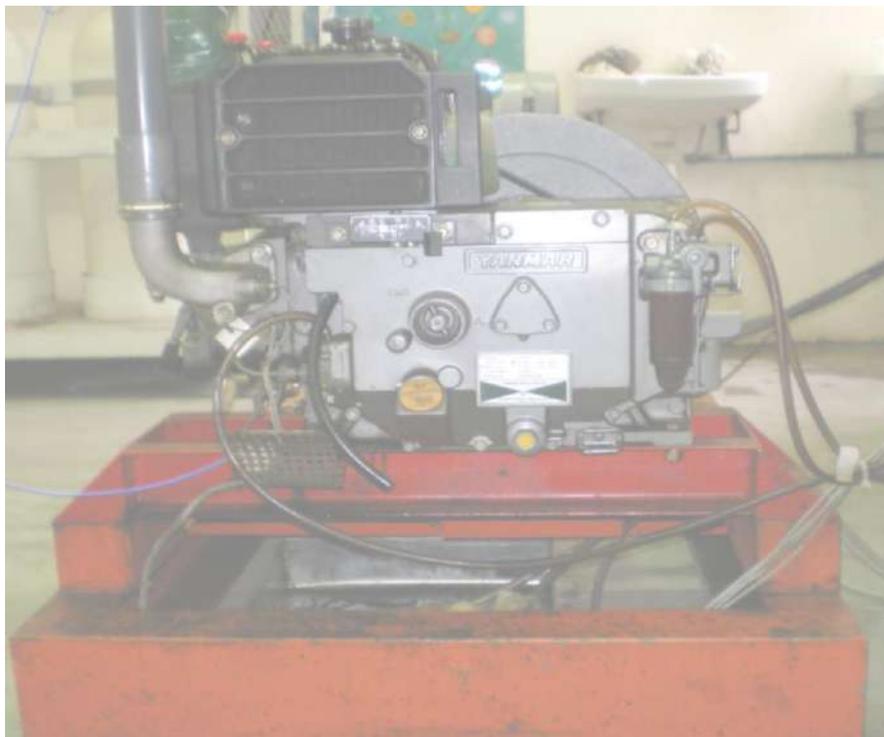


1. Enjin diesel Silinder Tunggal	6. Penganalisis Emisi Bosch
2. Dinamometer	7. Buret
3. Enjin Silinder Tunggal dan Dinamometer tesbed	8. Tangki Bahan Api Diesel
4. Penganalog Data IMC	9. Tangki Bahan Api Diesel + Bahan Tambah
5. Komputer dan perisian IMC	

Rajah 4.1 Komponen utama pengujian enjin

4.2.1 Enjin dan Dinamometer

Ujikaji prestasi dan emisi ini menggunakan enjin diesel silinder tunggal jenis suntikan terus yang spesifikasinya ditunjukkan dalam Jadual 1. Enjin dipasangkan pada dinamometer arus pusat berjenama lenze MGFQU 100-200



Rajah 4.2 Gambar Enjin diesel silinder tunggal berjenama Yanmar

Jadual 4.1 Spesifikasi enjin

Model	TF 90
Jenis	Mengufuk, disejukkan oleh air, 4 Kitaran
Sistem pembakaran	Penyuntikan terus
Bilangan silinder	1
Gerek x Lejang (mm)	85 x 87
Anjakan (l)	0.493
Nombor enjin	046694
Count output	6.3 kW (8.5 PS)/ 2400 Rpm
Max output	7.0 kW (9.5 PS)/2400 Rpm
Sistem pendingin	Radiator
Sistem permulaan	Manual

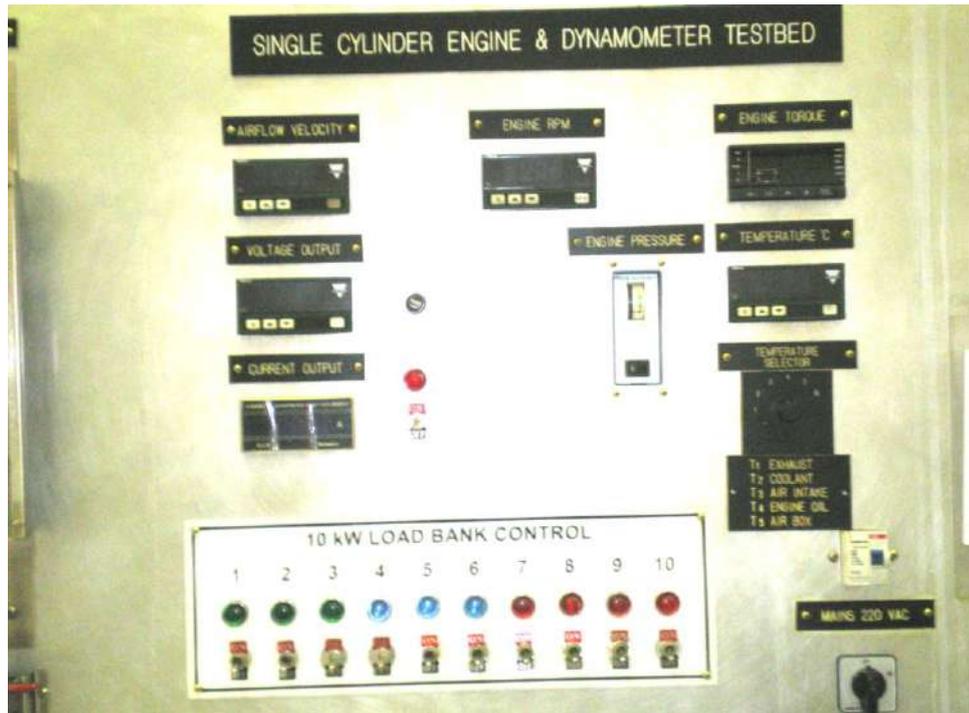


Rajah 4.3 Gambar Dinamometer Lenze jenis MGFQU 100-22

4.2.2 Sistem Unit Kawalan

Sistem unit kawalan yang digunakan dalam ujikaji ini ialah enjin silinder tunggal dan dinamometer tesbed (*single cylinder engine & dynamometer testbed*), penganalog data IMC dan perisian *Intergrated Measurement Control (IMC)*. Tesbed dilengkapi dengan pengatur pembebanan yang diberikan kepada enjin secara penuh (*full load*).

Semasa menjalankan ujian, kumpulan data ujikaji dapat direkodkan secara automatik oleh perisian IMC. Perisian ini juga mempunyai keupayaan untuk memaparkan parameter yang diinginkan yang dapat dipilih melalui suatu saluran (*channel*). Parameter-parameter tersebut iaitu kelajuan enjin, daya kilas, suhu ekzos, suhu penyejuk, suhu udara pengambilan, Suhu minyak pelincir dan suhu ambient. Masa penggunaan bahan api yang diambil sebanyak 10 ml burette dicatat menggunakan jam randik.



Rajah 4.4 Gambar panel *single cylinder engine & dinamometer testbed*
Model TM-1901-SCE



Rajah 4.5 Gambar komputer perekod data.
Sistem IMC



Rajah 4.6 Gambar penganalogue data IMC

4.2.3 Penganalisa Emisi Ekzos

Komponen gas emisi ekzos dikesan dengan menggunakan alat Penganalisa Gas Pembakaran Bosc jenis BEA 150 / 250 / 350. Komponen gas emisi ekzos yang dikesan adalah jelaga, karbon monoksida CO, karbon dioksida CO₂, hidrokarbon HC, dan nitrogen NO_x.

Jadual 4.2 Kalibrasi Penganalisis Gas Bosch

Parameter	Julat	Kejituan
CO	0.000...10.00% by vol	0.001 % by vol
CO ₂	0.00 ... 18.00 % by vol	0-2000 ppm
HC	0 ...9999 ppm vol	1 ppm vol
O ₂	0.00 ...22.00 % by vol	1 ppm vol
Lamda	0.500 ... 9.999	0.001
CO _{vrai}	0.00 ... 10.00 % by vol	0.01
NO	0 ... 5000 ppm vol	1 ppm vol
Jelaga	0 – 100 %	0.1 %



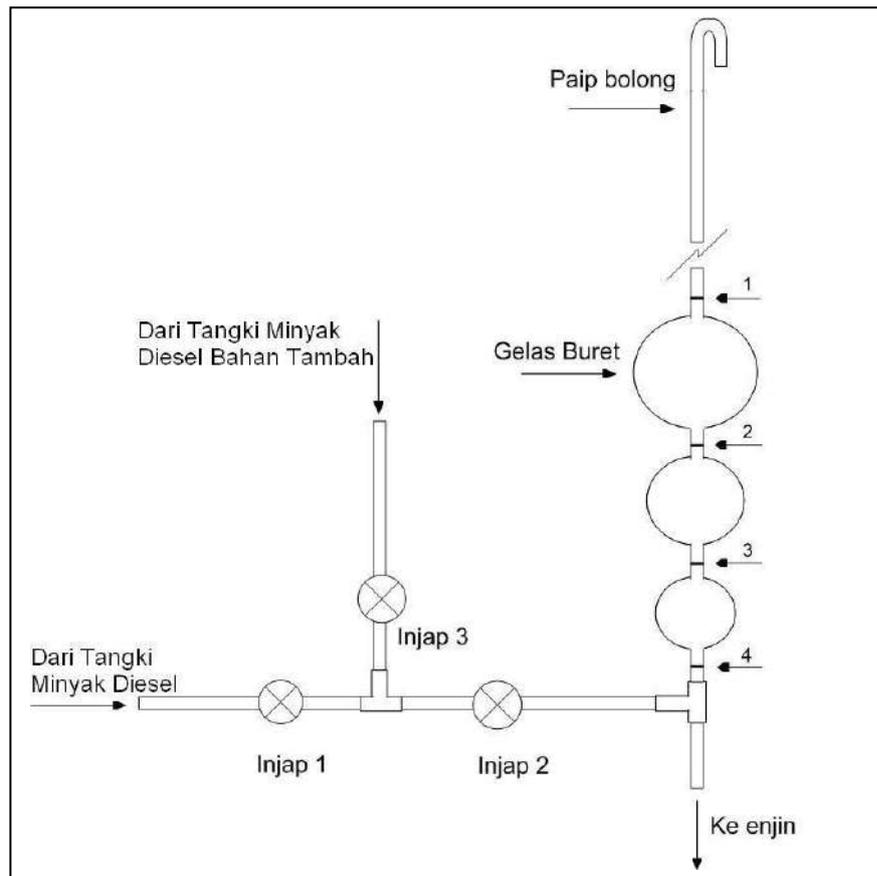
Rajah 4.7 Gambar penganalisis emisi ekzos

4.2.4 Sistem Bahan Api dan Pengukuran Kadar Aliran Bahan Api

Sistem kadar aliran bahan api menggunakan 2 buah volume *glass burette*. Burette glass mengandungi tiga isipadu iaitu 10 cc, 50 cc, dan 100 cc yang disambungkan pada garis paip bahan api. Buret pertama untuk tangki bahan api diesel, buret yang kedua untuk tangki bahan api diesel dicampur bahan tambah. Jam randik dengan kejitian 0.02 saat digunakan untuk pengukuran masa kadar aliran bahan api dan untuk kadar aliran bahan api ditentukan dengan nisbah kesetaraan stokiometrik.



Rajah 4.8 Gambar glass buret pengatur halaju bahan api



Rajah 4.9 Sistem aliran bahan api

Kaedah pengukuran masa aliran bagi bahan api bahan api diesel yang diberikan dalam Rajah 4.8 di atas adalah seperti berikut:

1. Pastikan injap 3 dalam keadaan tertutup.
2. Injap 1 dan injap 2 dalam keadaan terbuka.
3. Dalam keadaan biasa, bahan api diesel daripada tangki bahan api bahan api diesel akan mengalir terus memenuhi isipadu gelas buret dan ke enjin.
4. Bagi pengukuran masa, aliran bahan api injap 2 harus ditutup. Jadi bahan api yang memenuhi gelas buret akan turun.
5. Dalam ujian ini isipadu yang diambil adalah 10 ml, maka pengukuran adalah pada garisan 3 sehingga garisan 4 (jam randik dimulakan ketika bahan api pada garisan 3 dan berakhir ketika bahan api mencapai garisan 4).

Bagi bahan bahan api diesel yang telah di campur dengan bahan tambah, kaedah pengukuran masa aliran adalah dengan mengikut kepada langkah-langkah seperti berikut:

1. Pastikan injap 1 dalam keadaan tertutup.
2. Injap 2 dalam keadaan terbuka dan injap 3 dalam keadaan terbuka.
3. Bahan api diesel oksigenat daripada tangki bahan api diesel bahan tambah akan mengalir daripada paip dan terus memenuhi gelas buret dan ke enjin.
4. Bagi pengukuran masa aliran bahan api bahan api diesel bahan tambah, injap 2 perlu ditutup (penutupan injap 2 adalah ketika bahan api bahan api diesel oksigenat yang memenuhi gelas buret turun) dan mencapai garisan 3 (pada masa yang sama jam randik dimulai). Dan semasa bahan api mencapai garisan 4, jam randik dihentikan dan kemudian catat masa alir yang terpapar pada jam randik.
5. Setelah itu, injap 2 dibuka lagi.

4.3 KAEDAH UJIKAJI PRESTASI ENJIN

Sebelum ujikaji dijalankan, beberapa keadaan didalam kaedah pengambilan data prestasi dan emisi ekzos perlu diambil kira. Persediaan ujikaji yang perlu dilakukan sebelum ujian prestasi enjin dijalankan dapat dinyatakan seperti berikut:

1. Periksa cairan penyejuk, pastikan ianya terisi dengan penuh
2. Sistem paipan udara diperiksa bagi mengelakkan penurunan tekanan jika berlaku kebocoran dan penapis minyak dibersihkan.
3. Suis penganalog data IMC dan perisian IMC dihidupkan.
4. Suis dinamometer dihidupkan
5. Enjin disahkan pada keadaan sebenar. Enjin dijalankan seketika bagi mendapatkan keadaan-keadaan enjin yang sebenar. Langkah-langkah dalam proses pengesahan keadaan enjin dapat dijelaskan seperti berikut:
 - a. Perisian IMC diaktifkan.
 - b. Apabila enjin mula beroperasi, kelajuan enjin ditetapkan pada 800 rpm dan beban ditetapkan penuh (*full load*)
 - c. Kelajuan dinaikkan perlahan-lahan pada kelajuam 1100 rpm sehingga 1700 rpm.

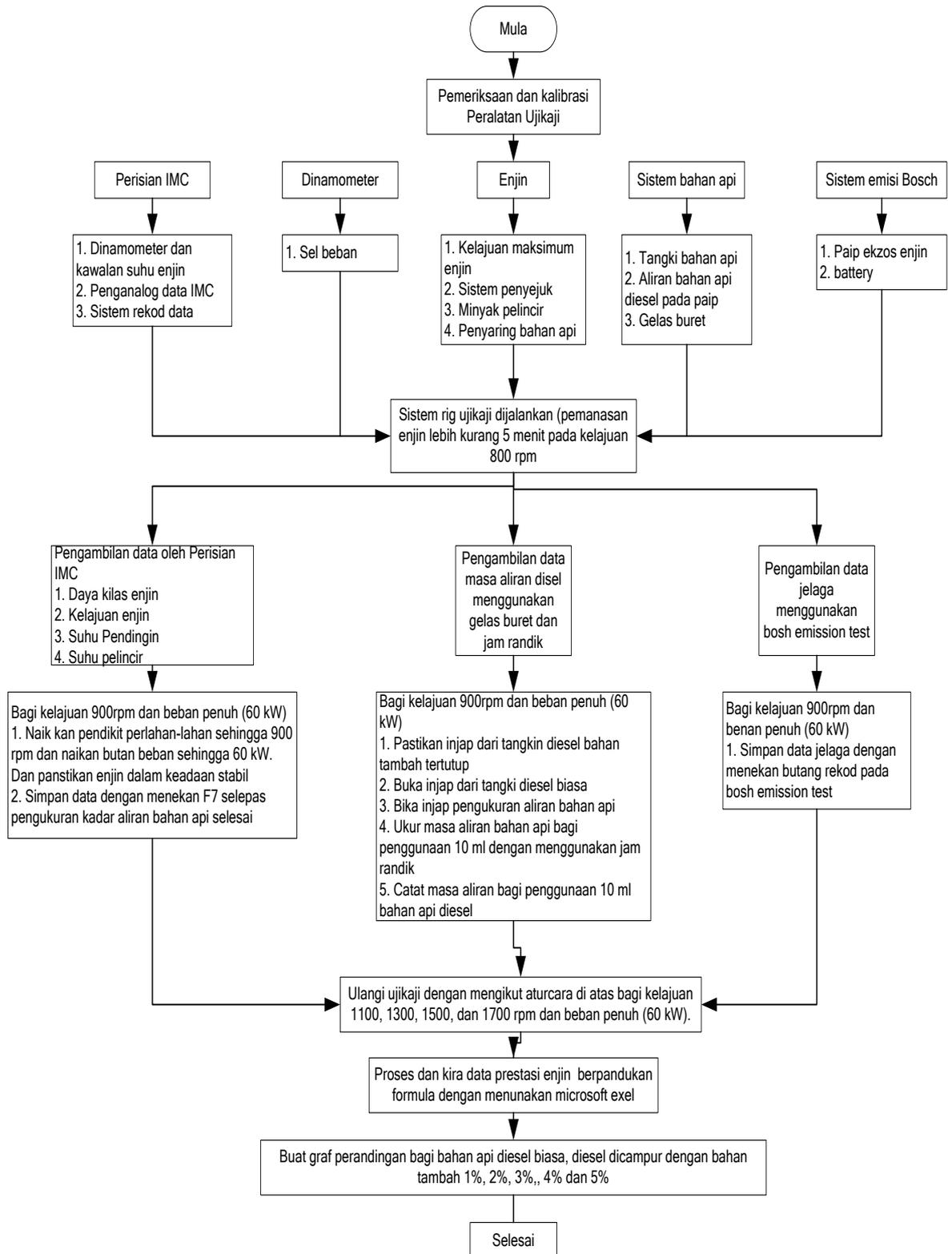
Ujikaji yang dijalankan pada enjin terbahagi kepada 6 bahagian. Ujikaji bahagian pertama menggunakan bahan api diesel tulen, bahagian kedua menggunakan bahan api diesel dengan penambahan bahan tambah sebanyak 1% sehingga bahagian

keenam ujikaji menggunakan bahan api diesel campuran bahan tambah sebanyak 5%. Ujikaji prestasi dan emisi gas buang enjin dijalankan pada keadaan beban penuh (*full load*) dengan mengubah kelajuan dari 900 sampai dengan 1700 dengan julat 200 yang dikawal melalui enjin silinder tunggal dan dinamometer tesbed.

Sebelum pengambilan data, enjin dihidupkan dan dibiarkan selama 5 – 10 minit dahulu untuk masa pemanasan supaya enjin mencapai keadaan stabil. Setelah itu, beban ditetapkan dalam keadaan penuh. Data-data parameter prestasi enjin dan emisi gas buang yang telah ditetapkan diambil pada setiap kenaikan kelajuan 200 rpm.

Data-data prestasi seperti kelajuan enjin, daya kilas direkodkan melalui perisian IMC, manakala untuk nilai penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma diperolehi dengan berpandukan formula yang telah ditetapkan. Data-data emisi gas buang direkodkan melalui alat uji emisi berjenama Bosc. Kadar aliran jisim bahan api diukur dengan menggunakan gelas buret dengan isipadu 10 cm³. Masa penggunaan bahan api diambil pada 10 cm³ penggunaan bahan api dengan menggunakan jam randik dengan kejitian 0.02 saat. Penjelasan lebih lengkap mengenai kaedah dan prosedur ujikaji prestasi enjin dapat dilihat pada Rajah 4.10

Data-data prestasi seperti kelajuan enjin, kuasa brek, daya kilas direkodkan melalui perisian IMC dengan mengikut kepada piawai DIN 2840LE401. Manakala untuk nilai kadar aliran jisim bahan api, penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma diperolehi dengan berasaskan kepada beberapa formula yang telah dijelaskan dalam Bab II.

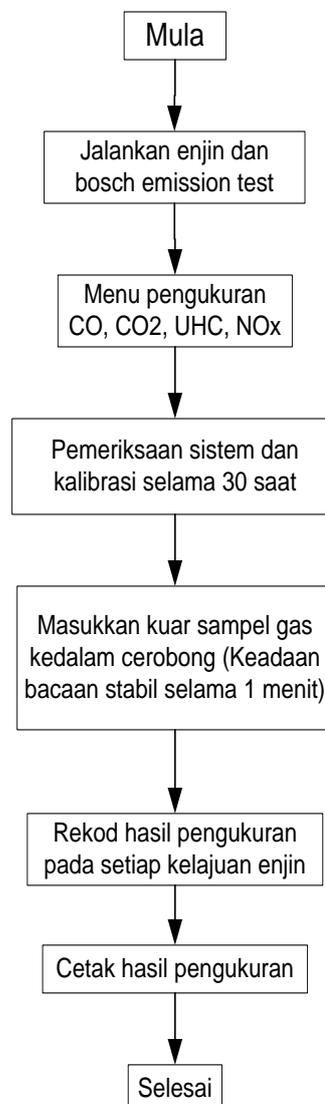


Rajah 4.10 Carta alir ujikaji prestasi enjin

4.4 KAEDAH UJIKAJI EMISI EKZOS

Ujikaji emisi ekzos dijalankan juga dengan keadaan kelajuan enjin berubah pada keadaan beban penuh ditetapkan 60kW. Sebelum pengambilan data, enjin dihidupkan dan dibiarkan selama 5 – 10 minit terlebih dahulu untuk pemanasan enjin. Keadaan ini dilakukan supaya enjin dapat mencapai keadaan stabil untuk memperoleh data yang baik.

Data ekzos direkodkan bermula dari kelajuan enjin 900 rpm sehingga 1700 rpm dengan julat 200. Data parameter emisi ekzos iaitu CO, CO₂, UHC, dan Nox bermula dari data emisi ekzos bahan api diesel tulen sehingga bahan api diesel dicampur dengan bahan tambah sebanyak 5 peratus bahan tambah.



Rajah 4.11 Carta alir ujikaji emisi ekzos enjin

4.5 KESUKARAN DALAM PENGAMBILAN DATA UJIKAJI

Dalam ujikaji yang dilakukan, sama ada ujian prestasi enjin dan ujian emisi ekzos, ada beberapa kesukaran yang dialami dalam pengambilan data ujikaji. Kesukaran-kesukaran yang dialami tersebut iaitu ujian prestasi enjin tidak dapat dilakukan sehingga kelajuan maksimum enjin. Ini kerana had gegaran alat yang terjadi sangat besar pada kelajuan melebihi 1800 rpm dengan beban penuh. Perkara lainnya yang terjadi adalah kenaikan suhu enjin dan suhu bahan penyejuk yang sangat cepat pada pertambahan kelajuan yang sangat tinggi tersebut. Keadaan ini sangat merbahaya bagi enjin dan peralatan ujikaji lainnya apabila suhu enjin yang berlaku pada masa pengambilan data tersebut sangat tinggi sehingga melewati batas maksimum suhu yang dicadangkan. Oleh itu tindakan yang diambil bagi mengatasi masalah tersebut adalah dengan cara mengurangkan skop ujian bagi kelajuan enjin iaitu 900 sehingga 1700 rpm dengan kenaikan kelajuan 200 rpm. Data yang diambil adalah sehingga batas maksimum kelajuan enjin. Tindakan ini diambil bagi mengurangkan risiko kerosakan yang terjadi pada peralatan dan rig ujikaji. Enjin ini biasanya kelajuan maksimum disel hanya 2100 rpm dan operasi biasa hanya 1600 rpm

BAB V

HASIL DAN PERBINCANGAN

5.1 PENDAHULUAN

Ujikaji kesan penambahan bahan tambah ke dalam bahan api disel pada prestasi dan emisi ekzos enjin disel dalam kajian penyelidikan ini dilakukan pada keadaan beban penuh (*full load*). Ujikaji dilakukan dengan melakukan perubahan pada pemboleh ubah iaitu kelajuan enjin dan bahan tambah. Ujikaji sifat bahan api diesel dan bahan api campuran diperlukan sebelum digunakan pada enjin disel. Pencirian bahan api mengambil kira beberapa faktor penentuan yang perlu diperhatikan. Faktor-faktor penentuan tersebut iaitu ciri-ciri sifat bahan api disel iaitu nilai ketumpatan, kelikatan dan nilai kalori bahan api (E Alptekin 2008)

Dalam bahagian ini, perbincangan menjelaskan hasil kesan penambahan bahan tambah terhadap sifat bahan api sebagai faktor penentuan bagi penggunaan bahan api dan kesan penambahan bahan tambah ke dalam bahan api disel terhadap prestasi kerja daripada enjin disel. Kesan yang di kaji pada ujikaji iaitu kuasa enjin, tork, penggunaan bahan api tentu, kecekapan terma dan emisi ekzos. Data ujikaji didapatkan pada pelbagai kelajuan enjin iaitu daripada kelajuan 900 rpm sehingga 1700 rpm. Manakala kadar campuran bahan tambah yang ditambahkan ke dalam bahan api disel iaitu campuran daripada 1 % sehingga 5 %.

5.2 HASIL UJIAN SIFAT BAHAN API

Pencampuran bahan tambah ozonida asid oleik boleh mempengaruhi sifat dan ciri bahan api disel. Asid oleik yang telah diozonkan mempunyai kandungan oksigen (O_2) yang lebih pada ikatan dubel nya. Kandungan oksigen yang berada pada bahan

tambah ozonida asid oleik yang ditambahkan bahan api disel yang bertujuan untuk pembakaran bahan api yang lebih sempurna karena mengandung oksigen yang lebih berbanding bahan api disel biasa.

Ciri-ciri sifat bahan api yang di ujikaji pada kajian ini meliputi ketumpatan, kelikatan dan nilai kalori bahan api yang mana akan dijelaskan seperti berikut :

5.2.1 Ketumpatan

Ketumpatan tentu bahan api adalah perbandingan diantara jisim bahan api dengan jisim air semulajadi pada isipadu dan suhu yang sama. Perubahan nilai ketumpatan boleh memberikan kesan kepada prestasi enjin dikeranakan perbezaan jisim bahan api yang disuntikkan (E Alptekin 2008). Hasil ujikaji nilai ketumpatan tentu pada pelbagai bahan api campuran menunjukkan sedikit naik, ini dikeranakan sedikit perbezaan antara ketumpatan bahan tambah dengan bahan api disel biasa.

Jadual 5.1 Perbandingan Keputusan ujian ketumpatan pada campuran bahan api disel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan

Kadar Bahan Tambah (%)	Ketumpatan	
	Kiraan (g/cm ³)	Ujikaji (g/cm ³)
0	0.813	0.813
1	0.813	0.819
2	0.814	0.821
3	0.814	0.823
4	0.815	0.828
5	0.815	0.834
100	0.814	0.814

Kadar ketumpatan pada tiap penambahan kadar bahan tambah kepada pada bahan api disel ditunjukkan pada Jadual 5.1. Kadar ketumpatan campuran juga boleh dikira mengikut persamaan di bawah ini :

$$\rho_{BAC} = X \rho_{BT} + (1-X) \rho_{BAD} \quad (5.1)$$

ρ_{BAC} = ketumpatan bahan api campuran

ρ_{BT} = ketumpatan bahan tambah

ρ_{BA} = ketumpatan bahan api disel

X = jumlah fraksi isipadu

Hasil ujikaji ketumpatan menunjukkan nilai ketumpatan bahan api diesel adalah 0.813 kg/m^3 dan nilai ketumpatan bahan tambah iaitu 0.814 kg/m^3 . Oleh sebab ketumpatan bahan tambah lebih besar dari ketumpatan bahan api disel biasa, maka semakin banyak kadar bahan tambah, kadar ketumpatan bahan api campuran semakin tinggi. Rajah 5.1 menunjukkan kenaikan nilai ketumpatan ujikaji pada setiap campuran yang bersesuaian dengan nilai ketumpatan campuran kiraan walaupun terjadi sedikit perbezaan.

5.2.2 Kelikatan

Kelikatan sesuatu bahan api ialah sukatan merintang alirannya (yang susut secara pantas dengan peningkatan suhu). Kelikatan menunjukkan kekentalan suatu bendalir. Apabila 2 buah bendalir yang mempunyai kelikatan berbeza dicampurkan secara fizik, maka kelikatan bendalir campuran memiliki nilai antara kelikatan kedua bendalir tersebut.

Jadual 5.2 Perbandingan Keputusan Kelikatan Kinematik pada campuran bahan api diesel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan

Kadar Bahan tambah (%)	Kelikatan Kinematik	
	Kiraan (mm^2/s)	Ujikaji (mm^2/s)
0	4.07	4.07
1	4.10	4.49
2	4.13	3.98
3	4.16	4.35
4	4.19	4.09
5	4.22	4.38
Add	6.98	6.98

Nilai kelikatan campuran boleh dikira menurut persamaan di bawah ini :

$$\mu_{BAC} = X \mu_{BT} + (1-X) \mu_{BAD} \quad (5.2)$$

μ_{BAC} = Kelikatan bahan api campuran

- μ_{BT} = Kelikatan bahan tambah
 μ_{BA} = Kelikatan bahan api disel
 X = jumlah fraksi isipadu

Dalam kajian ini dilakukan pencampuran antara bahan api disel dengan bahan tambah yang mana kedua bendalir tersebut memiliki nilai kelikatan yang berbeza. Perbandingan nilai kelikatan hasil ujikaji dan kiraan dengan persamaan 5.2 ditunjukkan pada Jadual 5.2. oleh sebab kelikatan bahan tambah lebih besar dari kelikatan bahan api disel biasa, maka Semakin banyak kadar bahan tambah, semakin tinggi kelikatan bahan api campuran tersebut. Rajah 5.2 juga menunjukkan kenaikan nilai kelikatan ujikaji pada setiap campuran yang bersesuaian dengan nilai kelikatan campuran kiraan. Oleh itu dapat disimpulkan bahawa tidak berlaku tindakbalas kimia antara baha tambah dengan bahan api disel, melainkan hanya proses fizik saja.

Kelikatan mempunyai kesan kepada pengwapan bahan api. Ianya berpunca kepada garis pusat zarah kabut, ketika pengkabutan sempurna akan berlaku pembakaran yang baik. Pencampuran bahan tambah kajian ini (1 – 5 %) berlaku sedikit peningkatan kelikatan bahan api campuran. Tetapi ianya masih memenuhi nilai kelikatan bahan api enjin disel.

5.2.3 Nilai kalori

Nilai kalori suatu bahan api adalah tenaga yang terhasil setiap unit berat bahan api yang terbakar. Nilai kalori bahan api campuran yang di campur adalah purata nilai kalori antara bahan yang dicampurkan.

Nilai kalori campuran boleh dikira menurut persamaan di bawah ini :

$$H_{C,BAC} = X H_{C,BT} + (1-X) H_{C,BAD} \quad (5.3)$$

- $H_{C,AC}$ = Kalori bahan api campuran
 $H_{C,BT}$ = Kalori bahan tambah
 $H_{C,BA}$ = Kalori bahan api disel

X = jumlah fraksi isipadu

Hasil ujikaji nilai kalori pada pelbagai bahan api menunjukkan sedikit naik berbanding bahan api diesel biasa meskipun ianya tidak signifikan. Campuran bahan tambah sebanyak 1 % menunjukkan kenaikan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.74% berbanding bahan api campuran yang lainnya. Nilai kalori pada pelbagai penambahan kadar bahan tambah kepada bahan api disel ditunjukkan pada Rajah 5.3.

Jadual 5.3 Perbandingan Keputusan ujian nilai kalori bakar pada campuran bahan api diesel antara nilai ujikaji dan nilai kiraan

Kadar Bahan Tambah (%)	Nilai Kalori	
	Kiraan (MJ/g)	Ujikaji (MJ/g)
0	45.61	45.71
1	45.61	45.95
2	45.55	45.67
3	45.48	45.69
4	45.42	45.64
5	45.35	45.66
Add	39.31	39.31

5.3 PRESTASI ENJIN DIESEL

Hasil daripada keputusan prestasi enjin yang akan dibincangkan ialah tork, kuasa enjin, penggunaan bahan api tentu dan kecekapan terma. Data-data hasil keputusan prestasi enjin dapat di rujuk pada lampiran A.

5.3.1 Hasil Tork Dan Kuasa Enjin

Data ujikaji kesan penambahan bahan tambah kepada bahan api pada tork dan kuasa untuk kelajuan enjin 900 rpm sehingga 1700 rpm ditunjukkan pada Jadual 5.4. Dari pada rajah 5.4 dan 5.5 tersebut dapat di lihat bahawa dengan penambahan bahan tambah ke dalam bahan api disel menunjukkan sedikit peningkatan tork dan kuasa enjin pada pelbagai jumlah campuran bahan tambah untuk setiap kelajuan enjin berbanding bahan api diesel tulen.

Rajah 5.4 dan 5.5 pula menunjukkan bahawa tork dan kuasa enjin bergantung pada kelajuan enjin. Pada Keadaan ini dapat di lihat lengkung tork dan kuasa enjin melawan jumlah penambahan bahan tambah pada setiap kelajuan enjin tertentu membentuk garis lurus dengan garis grap tork dan kuasa enjin bahan api disel biasa.

Dengan memandangkan bahawa nilai kalori dari pada bahan api diesel yang ditambahkan dengan ozonik oleik asid sedikit lebih tinggi berbanding bahan api disel biasa menyebabkan sedikit terjadi peningkatan pada tork dan kuasa enjin pada masing-masing bahan api campuran. Nilai tork maksimum dan kuasa maksimum yang diperoleh pada ujikaji ini iaitu pada campuran 1 % masing-masing sebanyak 33.3 Nm dan 5.925 kW pada kelajuan enjin 1700Rpm. Terjadi peningkatan sebanyak 5 % pada semua campuran berbanding bahan api diesel biasa. Keadaan ini menunjukkan kesan bahan tambah kepada kuasa enjin pada setiap campuran didapati cukup kecil atau tidak signifikan berbanding bahan api disel biasa pada setiap kelajuan enjin.

Jadual 5.4 Peratus kenaikan tork dan kuasa enjin bahan api disel bahan tambah berbanding bahan api disel biasa

Kadar Bahan Tambah (%)	Peratus kenaikan tork (%)	Peratus kenaikan kuasa (%)
1	1.56	1.33
2	-0.92	-1.15
3	1.40	0.97
4	2.56	1.84
5	1.84	1.11

5.3.2 Hasil Penggunaan Bahan Api Tentu

Penggunaan bahan api tentu merupakan satu nilai yang menunjukkan kuantiti penggunaan bahan api yang dibekalkan untuk keluaran sesuatu tenaga tentu bagi enjin. Nilai penggunaan bahan api tentu dipengaruhi oleh kualiti bahan api yang digunakan, dan prestasi enjin. Nilai yang lebih kecil menunjukkan jumlah bahan api yang digunakan lebih sedikit untuk menghasilkan sesuatu tenaga daripada enjin.

Hasil kajian ini ditunjukkan pada Rajah 5.6, lengkung penggunaan bahan api disel biasa berada pada titik yang lebih tinggi berbanding lengkung bahan api campuran. Hal ini menunjukkan bahawa kesan penambahan bahan tambah boleh

menurunkan nilai penggunaan bahan api tentu berbanding bahan api tulen. Ini bermakna bahawa penambahan bahan tambah ozonida asid oleik boleh meningkatkan kualiti bahan api dan menjimatkan penggunaan bahan api disel. Peningkatan kualiti bahan api campuran boleh dikeranakan atas sebab perubahan pada sifat bahan api disel yang telah di campur dengan ozonida asid oleik.

Rajah 5.6 pula menunjukkan setiap penambahan bahan tambah sebanyak 1% – 5% memberikan kesan penjimatan penggunaan bahan api berbanding bahan api disel biasa. Hasil penjimatan maksimum berlaku pada campuran tambahan sebanyak 1 % berbanding kadar penambahan ozonida asid oleik yang lain. Lengkung garis graf campuran 1% berada pada titik yang lebih rendah berbanding garis grap bahan api yang lainnya. Keputusan nilai peratusan penjimatan maksimum bahan api pada 1% penambahan adalah 12 % berbandingkan dengan bahan api diesel biasa.

Peningkatan nilai kalori dan ketumpatan bahan api campuran berbanding bahan api diesel biasa menyebabkan peningkatan kualiti bahan api campuran. Ketumpatan daripada bahan api disel campuran mempengaruhi jisim bahan api yang disuntikkan ke dalam kebuk pembakaran. Ketumpatan rendah daripada bahan api mempunyai tenaga lebih sedikit daripada bahan api dengan jisim sama dan ketumpatan lebih tinggi. Ini bermakna bahawa bahan api dengan ketumpatan lebih tinggi dapat menghasilkan tenaga lebih besar ketika terbakar (Savers 2007). Walaupun penambahan ozonida asid oleik kepada bahan api disel boleh menaikkan kualiti bahan api campuran tersebut akan tetapi bahan tambah bukan bahan api bagi enjin disel. Oleh itu, terdapat suatu had tertentu bagi peningkatan kualiti bahan api pada campuran tersebut.

Sebahagian tenaga yang terhasil daripada pembakaran bahan api di dalam enjin akan membentuk tenaga haba dan keluar sistem ke sekitaran, sebahagian digunakan untuk melawan geseran yang berlaku di dalam enjin dan sebahagian lagi sebagai tenaga keluaran enjin. Kadar penggunaan bahan api tentu bergantung pada kerja enjin dan kualiti bahan api. Rajah 5.6 pula menunjukkan bahawa pada julat putaran enjin 1300 – 1500 Rpm, penggunaan bahan api tentu secara purata lebih rendah berbanding pada kelajuan enjin yang lain.

Pada kelajuan enjin lebih tinggi, nilai penggunaan bahan api tentu menaik terus, dimana pada kajian ini iaitu pada kelajuan 1700 rpm nilainya menaik tajam. Walaubagaimanapun pada penggunaan bahan api disel tulen, nilai penggunaan bahan api tentu tetap lebih tinggi berbanding bahan api campuran. Kelajuan enjin 1500 rpm memberikan nilai terendah pada pelbagai bahan api yang digunakan. Ini merupakan ciri dari pada enjin disel silinder tunggal yang digunakan pada kajian ini. Kesan kelajuan enjin kepada penggunaan bahan api tentu untuk kelajuan lebih dari 1500 rpm menaik. Keadaan ini berlaku bagi bahan api tulen dan semua bahan api campuran. Ini bermakna bahawa kesan kelajuan enjin kepada penggunaan bahan api tentu telah bersesuaian dengan ciri enjin disel pada kajian ini. Penjelasan di atas dapat diambil kesimpulan bahawa penambahan oksigenat kepada bahan api diesel boleh memberikan kesan bermanfaat (*beneficial effect*) kepada bahan api diesel

5.3.3 Kecekapan Terma

Kecekapan terma adalah nisbah tenaga yang terhasil daripada enjin dengan tenaga yang dibekalkan oleh bahan api. Tenaga haba yang hilang dari sistem penyejuk adalah sekitar 33% dan haba yang hilang melalui sistem ekzos juga lebih kurang 33%. Baki tenaga haba iaitu kira-kira 5% digunakan untuk mengatasi geseran dalam enjin. Haba yang hilang dapat mengurangkan kecekapan terma dan selanjut nya boleh menurunkan kuasa keluaran enjin (Rosli Hussin 1996)

Kecekapan terma sepatutnya bergantung ciri enjin dan kualiti bahan api yang digunakan. Rajah 5.7 menunjukkan perbandingan kecekapan terma yang dihasilkan untuk bahan api campuran diesel bahan tambah dengan bahan api disel biasa. Pencampuran bahan tambah ke dalam bahan api disel meningkatkan kecekapan terma pada tiap-tiap bahan api campuran berbanding bahan api disel biasa. Bahan tambah ozonida asid oleik mengandungi oksigen lebih yang boleh menjadi pemangkin untuk pembakaran lebih sempurna

Kajian ini mendapati bahawa penambahan sebanyak 1% mempunyai kecekapan yang lebih baik berbanding bahan api campuran yang lain berbanding

bahan api disel biasa. Pencampuran sebanyak 1% bahan tambah boleh meningkatkan kecekapan terma sebanyak 16 % berbanding kecekapan terma bahan api disel biasa. Kenaikan kecekapan terma daripada bahan api diesel bahan tambah ini adalah kerana peningkatan nilai kalori dan penurunan kadar aliran jisim bahan api tanpa menurunkan kuasa enjin berbanding bahan api diesel biasa.

5.4 EMISI EKZOS

Hasil dari pada emisi-emisi ekzos yang dibincangkan pada kajian ini meliputi jelaga (*soot*), gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC) dan oksida nitrogen (NO_x). Penambahan bahan tambah ke bahan api tulen kepada emisi ekzos enjin dapat memberikan maklumat mengenai kesan penambahan bahan tambah bahan api campuran dalam kajian penyelidikan ini.

5.4.1 Jelaga

Jelaga hasil pembakaran diesel terdiri daripada zarah-zarah karbon yang tidak terbakar sepenuhnya. Pembakaran tidak sempurna akan mengekalkan karbon dalam bentuk zarah-zarah karbon yang terlihat bersama gas ekzos sebagai asap hitam. Pengewapan bahan api yang tidak sepenuhnya dan pembakaran dibawah suhu bakar mahupun bekalan oksigen yang tidak mencukupi dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna berlaku.

Rajah 5.8 menunjukkan kesan keluaran emisi jelaga dan kelajuan enjin kepada kadar penambahan bahan tambah. Emisi jelaga bahan api disel tulen mempunyai kadar yang lebih tinggi berbanding bahan api disel bahan tambah. Penurunan maksimum berlaku pada campuran sebanyak 1% bahan tambah, yang mana jelaga mengalami penurunan yang sangat rendah iaitu sebanyak 30% berbanding bahan api disel biasa. Hal ini bermakna bahan tambah ozonida asid oleik boleh mengurangi emisi jelaga dengan membuat pembakaran lebih sempurna berbanding bahan api disel biasa pada keadaan enjin beban penuh.

Pada kajian ini emisi jelaga paling tinggi berlaku pada kelajuan enjin 1700 rpm pada penggunaan bahan api tulen mahupun bahan api campuran. Oleh sebab kelajuan enjin tinggi, masa untuk merubah fasa bahan api dari wap ke gas berkurang. Oleh itu, bahan yang di bakar belum semua berwujud gas. Ianya menyebabkan pembakaran yang berlaku tidak sempurna.

5.4.2 Karbon Monoksida (CO)

Aras emisi CO dapat diminimumkan dengan melengkapkan pengoksidaan dan membentuk karbon dioksida (CO_2). Faktor yang membolehkan keadaan ini berlaku ialah suhu yang tinggi, kepekatan oksigen tinggi, tekanan yang tinggi dan masa pembakaran yang panjang (M. Nazri, 2005).

Rajah 5.9 menunjukkan bahwa garis graf bahan api disel biasa berada pada titik yang teratas berbanding bahan api disel campuran bahan tambah yang lainnya. Ini bermakna penambahan bahan tambah boleh menurunkan keluaran emisi ekzos karbon monoksida (CO) berbanding bahan api tulen. Pada kelajuan enjin dibawah 1500 rpm, keluaran emisi CO menurun, manakala pada kelajuan tinggi 1700 rpm menunjukkan kenaikan. Hal mana kerana pada kelajuan enjin yang tinggi berlaku pembakaran yang tidak sempurna, seperti dijelaskan pada perbincangan emisi jelaga iaitu antaranya kerana pengegasan bahan api yang belum sempurna antara lain disebabkan oleh kekurangan oksigen.

Kesan penambahan bahan tambah kepada keluaran emisi CO pula ditunjukkan pada rajah 5.9. Secara khusus pada kelajuan enjin 1500 Rpm terjadi penurunan sehingga pada penambahan bahan tambah sebanyak 5%. Pada kelajuan 1700 Rpm pula penurunan emisi karbon monoksida terjadi sehingga penambahan bahan tambah sebanyak 2%. manakala pada penambahan berikutnya keluaran emisi CO menaik semula, tetapi kadarnya masih dibawah kadar CO bahan api diesel biasa. Penurunan maksimum juga berlaku pada penambahan 2% bahan tambah yang mana CO menurun sehingga 36% berbanding bahan api disel biasa. Sedangkan pada penambahan sebanyak 1 % Co juga menurun sehingga 35 % berbanding bahan api diesel biasa.

5.4.3 Karbon Dioksida (CO₂)

Pembakaran bahan api menggunakan udara (O₂) yang sempurna menghasilkan sebatian air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂). Manakala sebatian seperti karbon monoksida (CO), zarah karbon (C) dan hidrokarbon (HC) terhasil bagi bahan api yang tidak terbakar sempurna kerana kekurangan O₂. Keluaran emisi CO₂ yang banyak menunjukkan bahawa pembakaran bahan api berlaku dalam keadaan yang sempurna dengan udara yang mencukupi.

Rajah 5.10 menunjukkan keluaran emisi CO₂ pada pelbagai penggunaan bahan api dan kelajuan enjin. Secara umumnya, pencampuran bahan tambah dapat sedikit menaikkan keluaran emisi CO₂ pada tiap-tiap bahan api campuran berbanding dengan bahan api tulen. Peningkatan emisi CO₂ pada campuran sebanyak 1 % - 2% bahan tambah memberikan kesan yang baik pada kelajuan rendah yang mana CO₂ sedikit meningkat sehingga 5.% menunjukkan kecekapan pembakaran memang di jangkakan. Penghasilan CO₂ yang lebih tinggi dan pengurangan emisi CO menunjukkan pembakaran yang lebih cekap (Nwafor 2004). Ini bermakna bahawa penambahan bahan tambah boleh meningkatkan kualiti daripada bahan api. Emisi CO₂ juga meningkat setaraf dengan peningkatan kelajuan enjin dan ini berlaku pada penggunaan bahan api tulen mahupun campuran bahan tambah.

5.4.4 Hidrokarbon (HC)

Kandungan hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC) yang terkandung di dalam gas ekzos kenderaan bermotor ialah punca daripada pembakaran bahan api tidak lengkap dan campuran yang kurang homogenous. Ianya tidak terbakar secara sempurna untuk menjadi CO₂ dan H₂O. Dengan memandangkan bahawa jumlah hidrokarbon di dalam gas ekzos sangat sedikit, maka ianya dinyatakan dalam bahagian per juta (ppm). Gas UHC berbau busuk dan memedihkan mata serta memeritkan tekak.

Hasil kajian untuk emisi hidrokarbon tak terbakar ditunjukkan dalam 5.11 untuk kandungan hidrokarbon tak terbakar melawan kelajuan enjin pada pelbagai bahan tambah. Rajah 5.11 menunjukkan keluaran emisi hidrokarbon pada bahan api

disel tulen lebih tinggi berbanding keluaran emisi hidrokarbon pada bahan api campuran 1% sehingga 5%.

Rajah 5.11 pula menunjukkan bahawa penambahan bahan tambah sehingga campuran 5% dapat menurunkan keluaran hidrokarbon pada pelbagai kelajuan enjin. Penurunan maksimum pada kajian ini terjadi pada campuran sebanyak 1% dimana UHC menurun sehingga 13% berbanding bahan api diesel biasa. Pada penambahan bahan tambah yang lain iaitu campuran selain 1% juga menunjukkan penurunan keluaran hidrokarbon tak terbakar. Selain menyalurkan udara lebih, penambahan oksigenat pada campuran bahan api disel boleh mengurangi kadar hidrokarbon tak terbakar dengan memperbaiki prestasi pembakaran. Selain itu, kesan kelajuan enjin kepada keluaran hidrokarbon naik bersamaan dengan kenaikan kelajuan enjin pada pelbagai penggunaan bahan api.

5.4.5 Oksida Nitrogen (NO_x)

Rajah 5.12 menunjukkan emisi ekzos oksida nitrogen (NO_x) pada pelbagai jumlah campuran bahan tambah ke dalam bahan api dan kelajuan enjin. Rajah ini menunjukkan bahawa penurunan emisi NO_x secara purata berlaku pada setiap campuran sehingga 5% pada kelajuan enjin rendah. Bahan tambah yang mempunyai oksigen lebih boleh menurunkan suhu pembakaran (M Karabektas et al 2008). Pencampuran bahan api disel oksigenat boleh menurunkan tempoh pengwapan pada suhu tinggi dan hal itu cenderung kepada penurunan emisi NO_x (Y Ren et al 2008). Emisi NO_x mengalami kenaikan setaraf dengan kelajuan enjin. Keadaan ini berlaku kerana kelajuan enjin yang meningkat dapat menaikkan tekanan dan suhu di dalam kebuk pembakaran

Rajah 5.12 pula menunjukkan kecenderungan kenaikan emisi NO_x secara purata berlaku pada kelajuan enjin tinggi di setiap campuran sehingga 5%. Pada umumnya, pembakaran yang lebih sempurna akan meningkatkan suhu enjin dan NO_x yang dijana pun akan menaik. (Shi et al 2005). Emisi NO_x mengalami kenaikan setaraf dengan kelajuan enjin. Keadaan ini berlaku kerana kelajuan enjin yang meningkat dapat menaikkan tekanan dan suhu di dalam kebuk pembakaran (M Nazri

2005). Peningkatan maksimum berlaku pada campuran 1% bahan api disel oksigenat dimana NO_x meningkat sehingga 9 % berbanding bahan api disel biasa pada kelajuan enjin tinggi. Kajian terhadap kenaikan emisi NO_x dengan penambahan oksigenat kepada bahan api disel adalah konsisten dan bersesuaian dengan kajian yang telah dilakukan oleh para penyelidik sebelumnya. (Shi et al 2005)

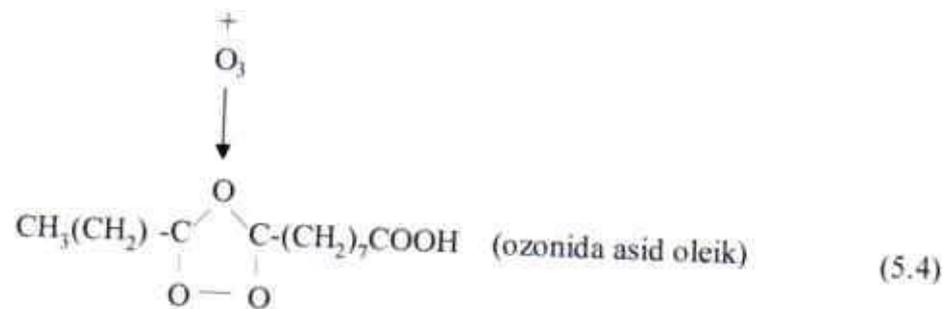
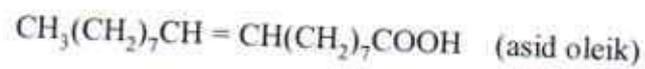
5.5 PERBINCANGAN

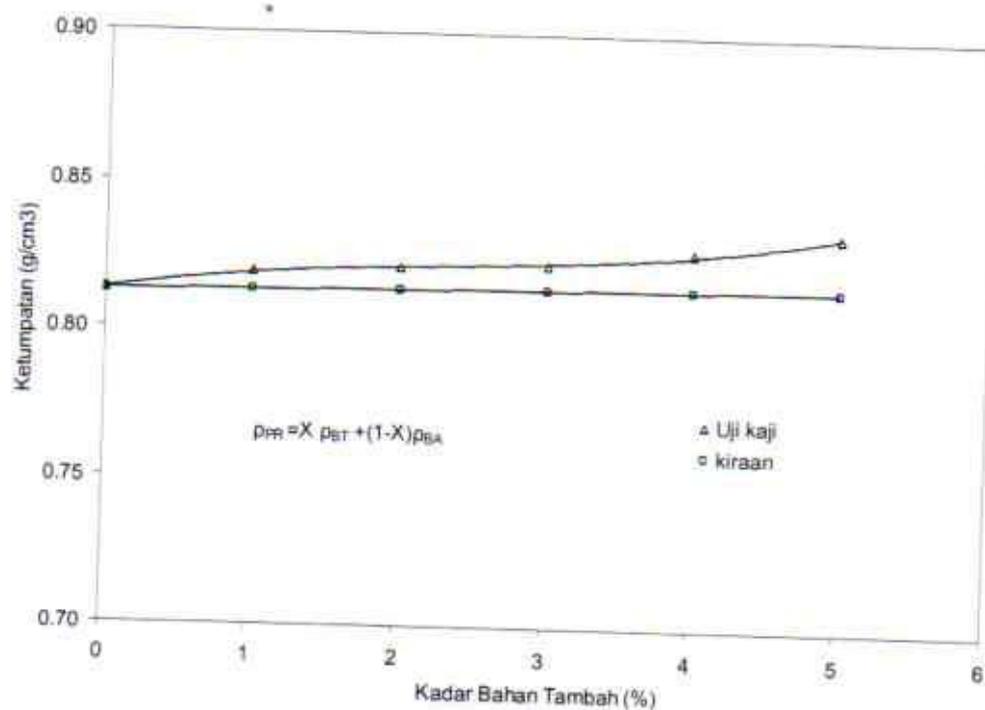
Kajian penambahan bahan tambah asid oleik kepada bahan api diesel dalam kajian ini telah dilakukan dengan menggunakan enjin diesel bersilinder tunggal 498 cc. Kesan kepada prestasi enjin yang merujuk kepada sifat fizik bahan api, kuasa enjin, daya kilas, penggunaan bahan api tentu, kecekapan terma dan emisi gas keluaran ekzos telah dijalankan dan di analisis. Hasil ujikaji mendapati bahawa bahan tambah ozonida asid oleik dapat dicadangkan untuk digunakan sebagai campuran kepada bahan api diesel. Daripada kajian yang dilakukan didapati bahawa bahan tambah asid oleik ini dapat meningkatkan kualiti bahan api. Tambahan asid oleik yang telah diozonkan boleh membantu dalam meningkatkan prestasi enjin. Dari hasil kajian sifat bahan api, ketumpatan bahan api campuran meningkat berbanding bahan api disel biasa. Perubahan pada ketumpatan bahan api akan mempengaruhi kuasa keluaran enjin disebabkan oleh perbezaan jisim bahan api yang di suntik. Ketumpatan juga mempengaruhi penggunaan bahan api kerana sistem suntikan bahan api enjin disel diukur secara isipadu. Merujuk kepada emisi ekzos enjin diesel, penambahan bahan tambah ozonida asid oleik boleh memberikan kesan yang lebih baik berbanding bahan api disel biasa.

Kajian kesan bahan tambah ozonida asid oleik terhadap prestasi dan emisi ekzos enjin petrol sudah pun dilakukan (Irfan Wahyudi, 2007). Kajian ini mencampurkan ozonida asid oleik dengan bahan api petrol sebanyak 0.2 peratus bahan tambah dan di ujikaji pada enjin palam pencucuh 4 silinder. Hasil kajian ini menunjukkan kesan bahan tambah ozonida asid oleik boleh memberikan kesan kenaikan pada prestasi enjin dan menurun kan emisi ekzos pada enjin palam pencucuh. Penambahan bahan tambah ozonida asid oleik pada bahan api petrol sebanyak 0.2 peratus boleh meningkatkan kuasa enjin sebanyak 4.04% pada kelajuan

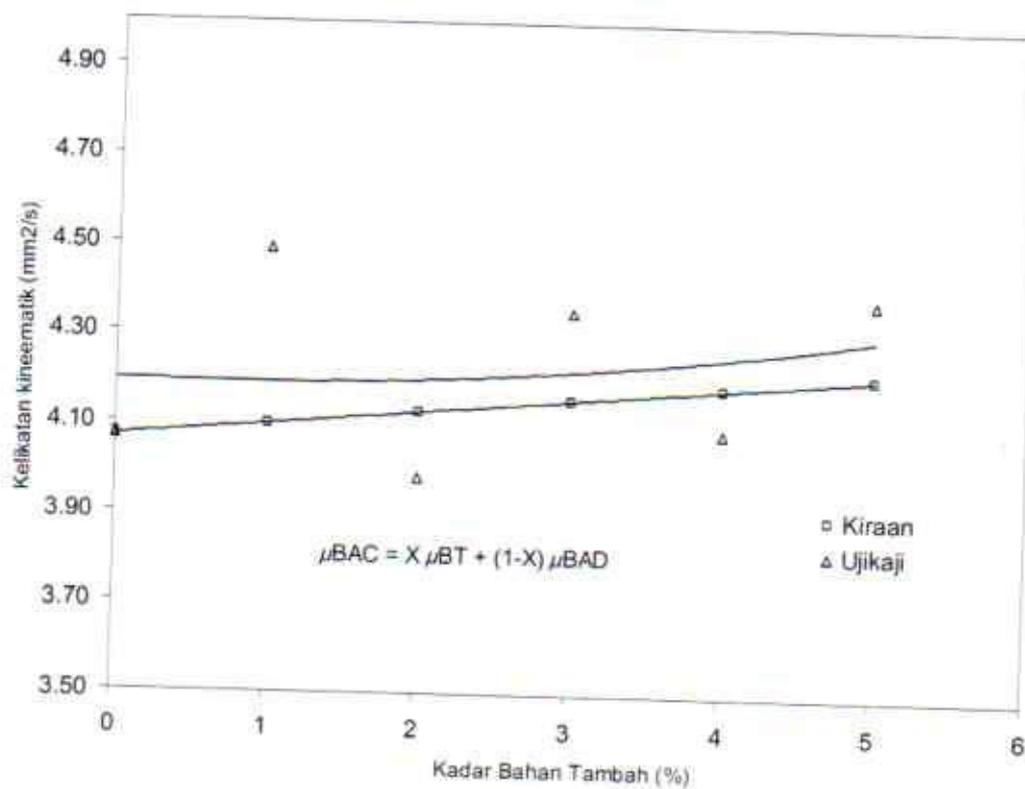
1600 rpm, meningkatkan tork sebanyak 4.06 % dan menjimatkan penggunaan bahan api sebanyak 8.4 % serta meningkatkan kecekapan enjin 7.25% berbanding petrol biasa. Kesan penambahan ozonik oleik asid pada bahan api petrol juga boleh menurunkan kadar emisi CO sehingga 40 % dan meningkatkan emisi CO₂ sehingga 10% serta menurunkan kadar emis NO_x sehingga 12% berbanding petrol biasa. (Wahyudi, 2007)

Penambahan ozonida asid oleik sebagai bahan tambah kepada bahan api disel dan bahan api petrol setelah di ujikaji boleh memberikan kesan bermanfaat bagi kedua-dua bahan api dan boleh dicadangkan menjadi bahan campuran untuk bahan api diesel dan petrol, dan juga boleh mengurangkan penggunaan bahan api fosil yang semakin terencat. Persamaan di bawah ini adalah tindakbalas asid oleik dengan ozon

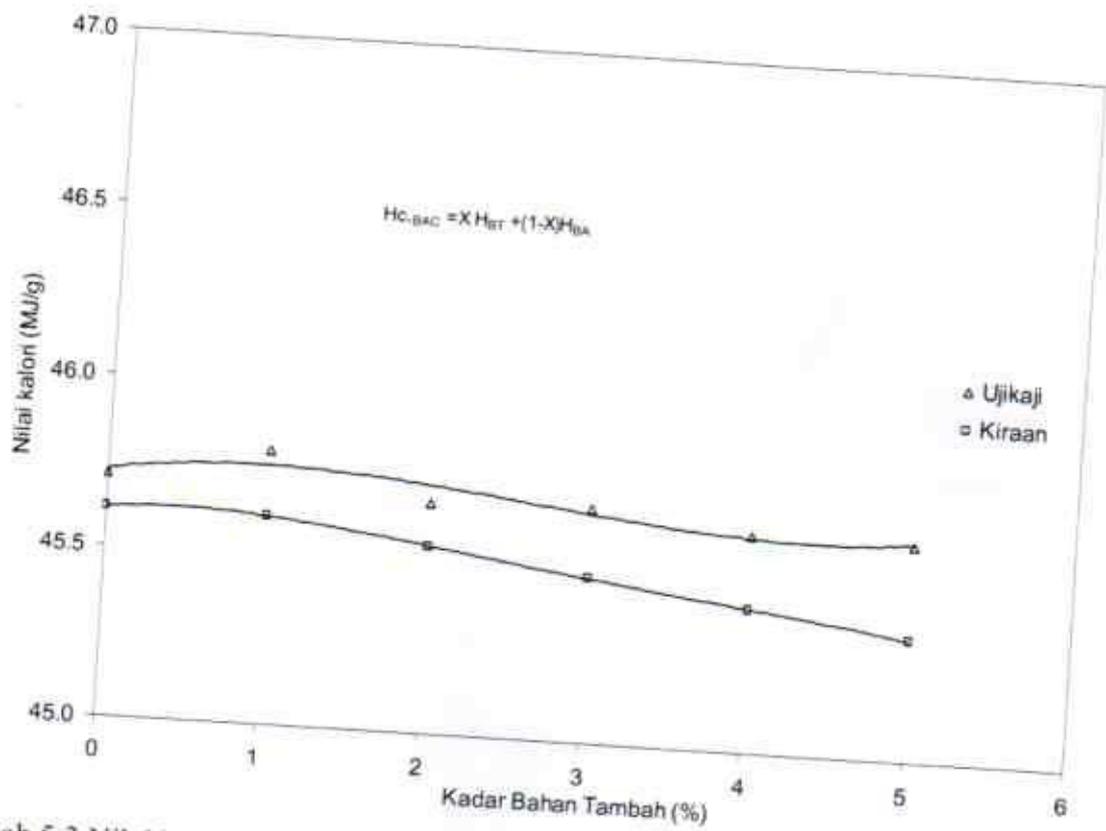




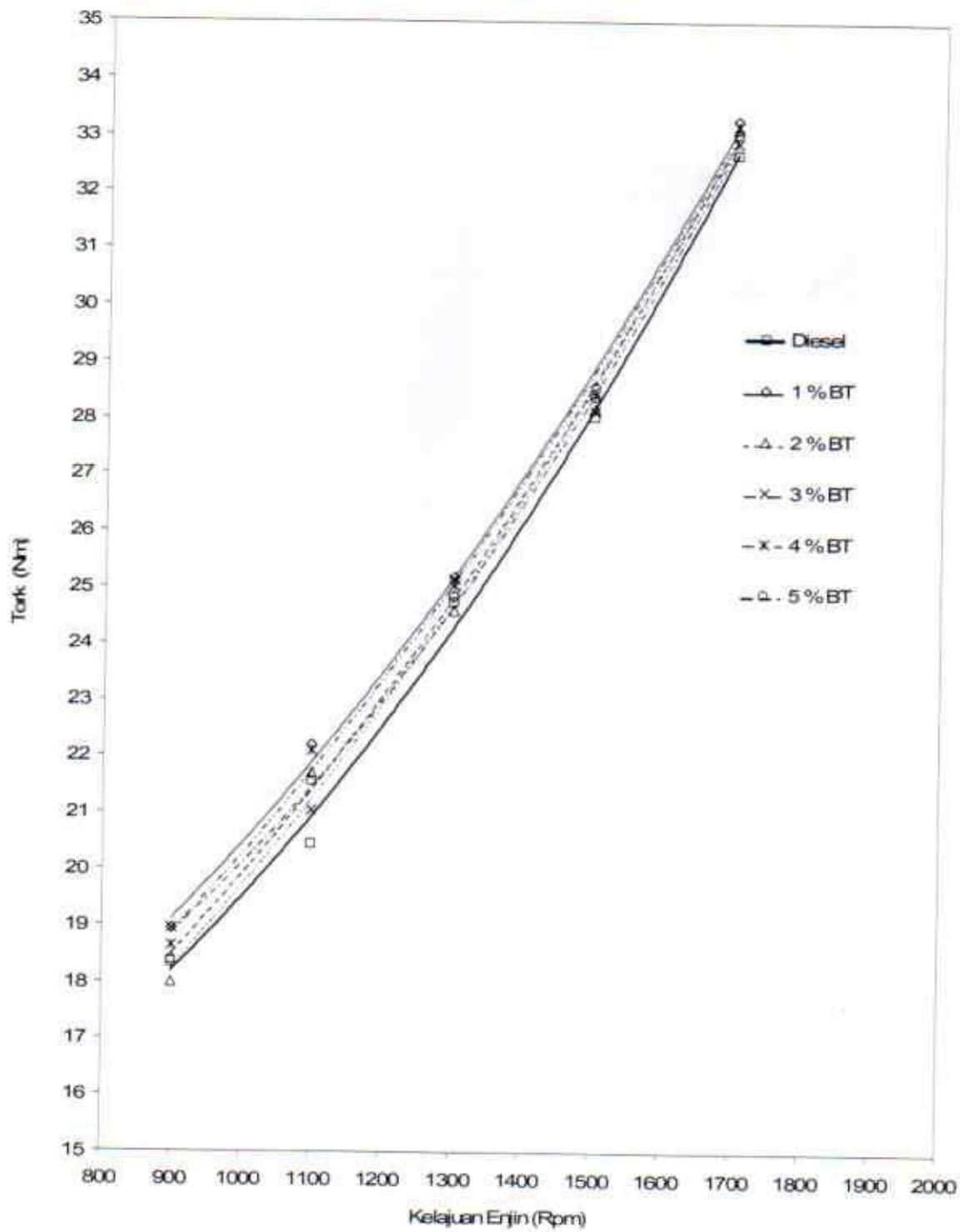
Rajah 5.1 Ketumpatan bahan api (Kg/m³) melawan kadar bahan tambah ozonik oleik asid



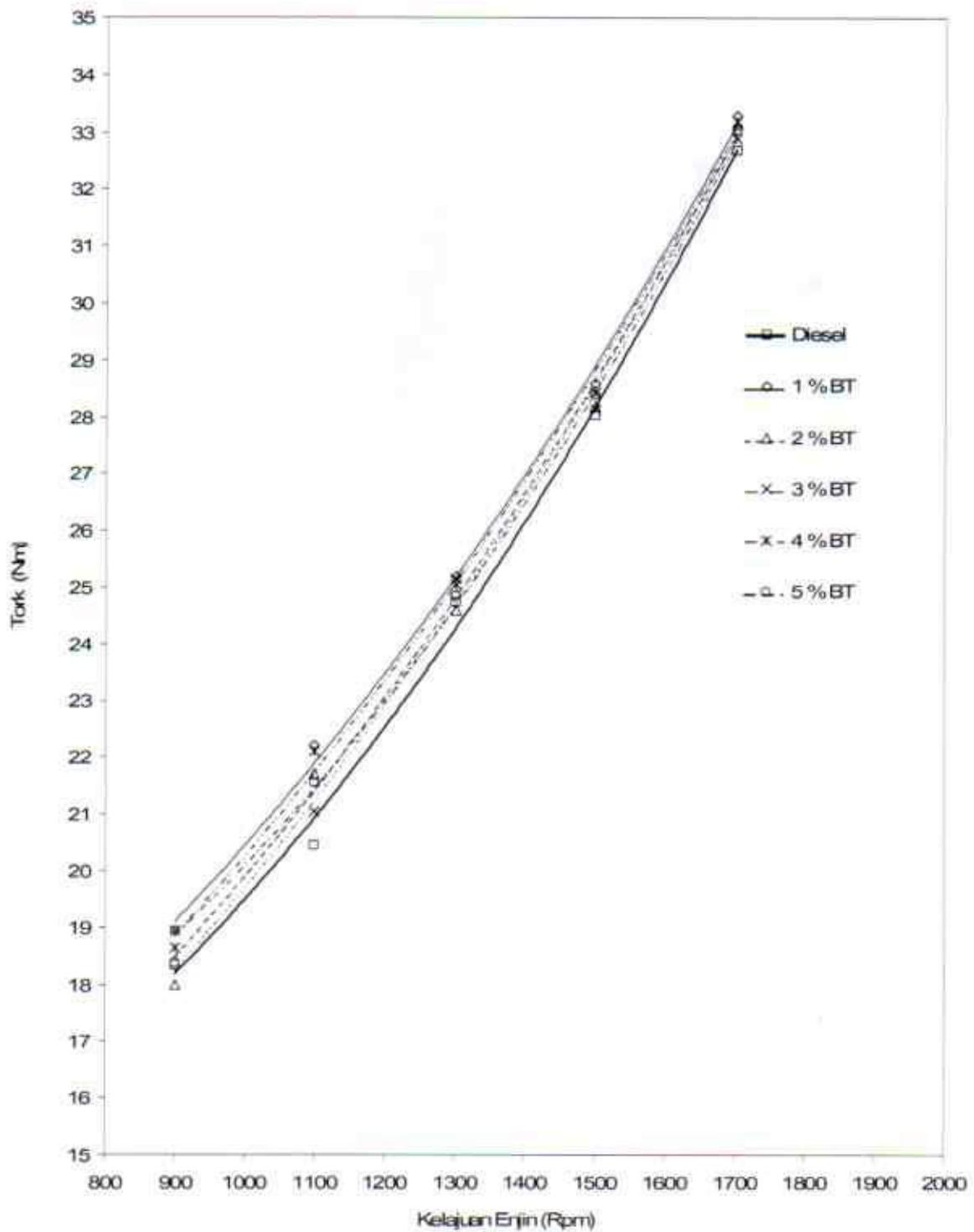
Rajah 5.2 Kelikatan bahan api (mm²/s) melawan kadar bahan tambah ozonik oleic asid



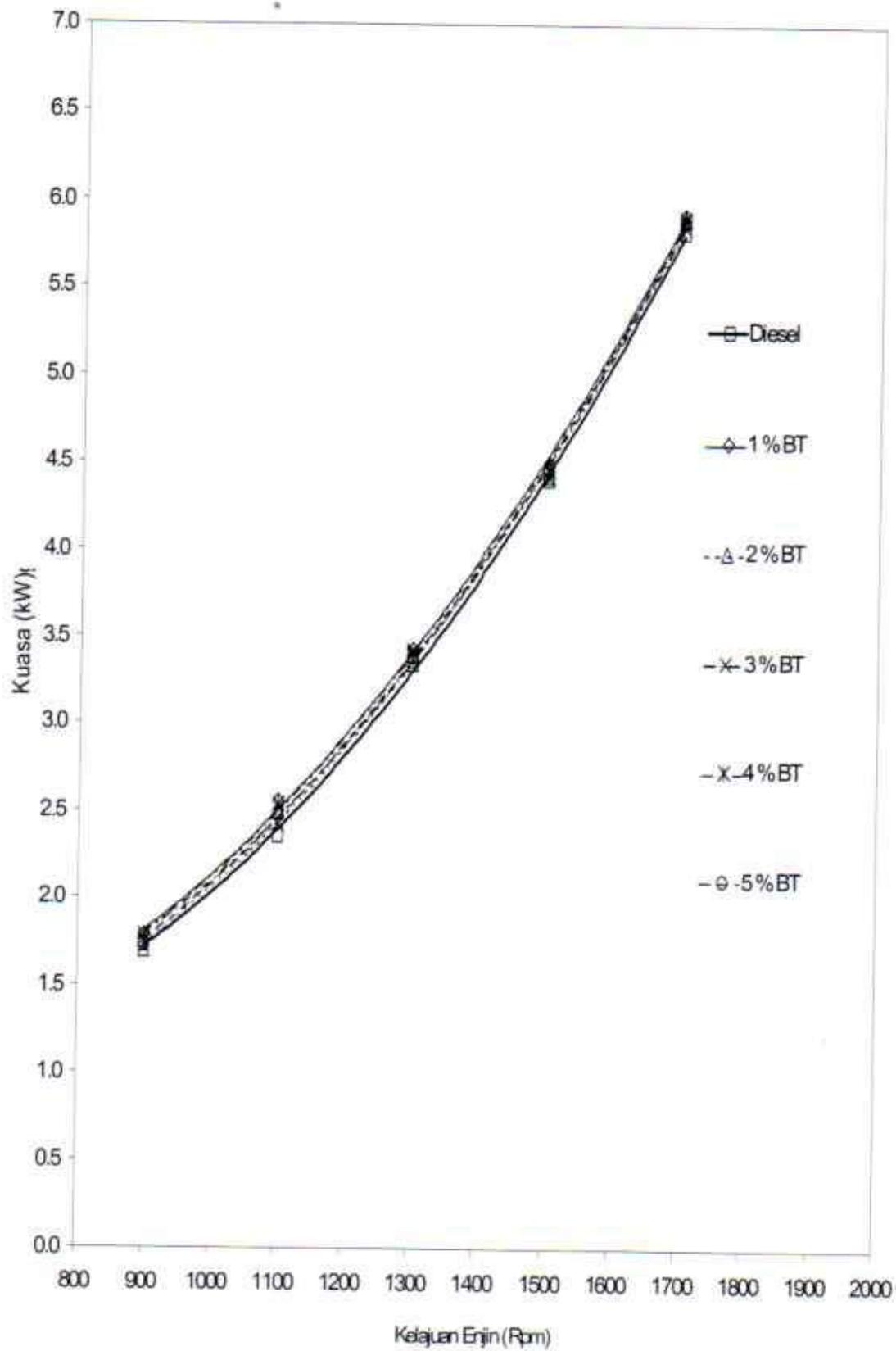
Rajah 5.3 Nilai kalori bakar bahan api (MJ/g) melawan kadar bahan tambah ozonik oleik asid



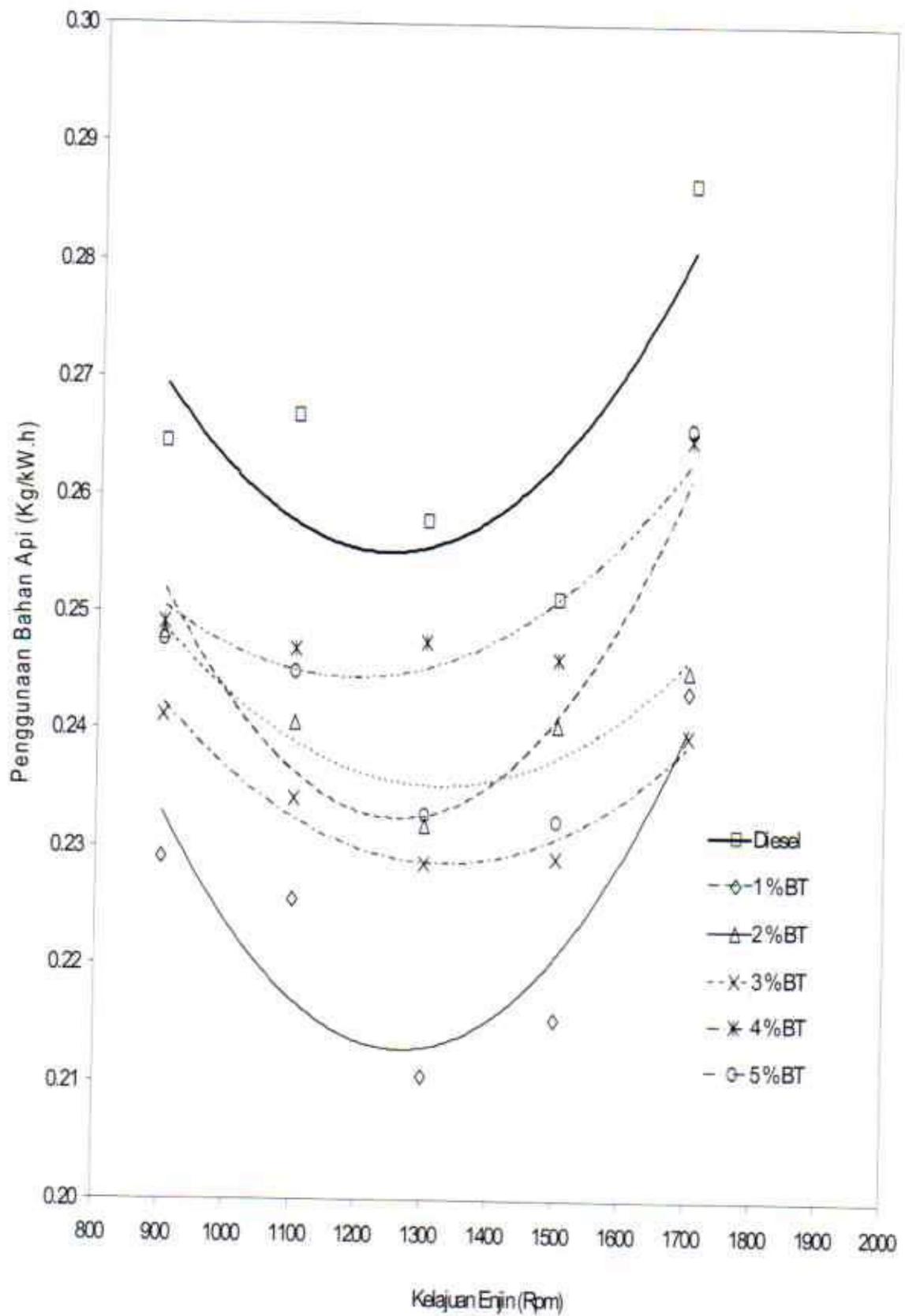
Rajah 5.4 Graf daya kilas melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



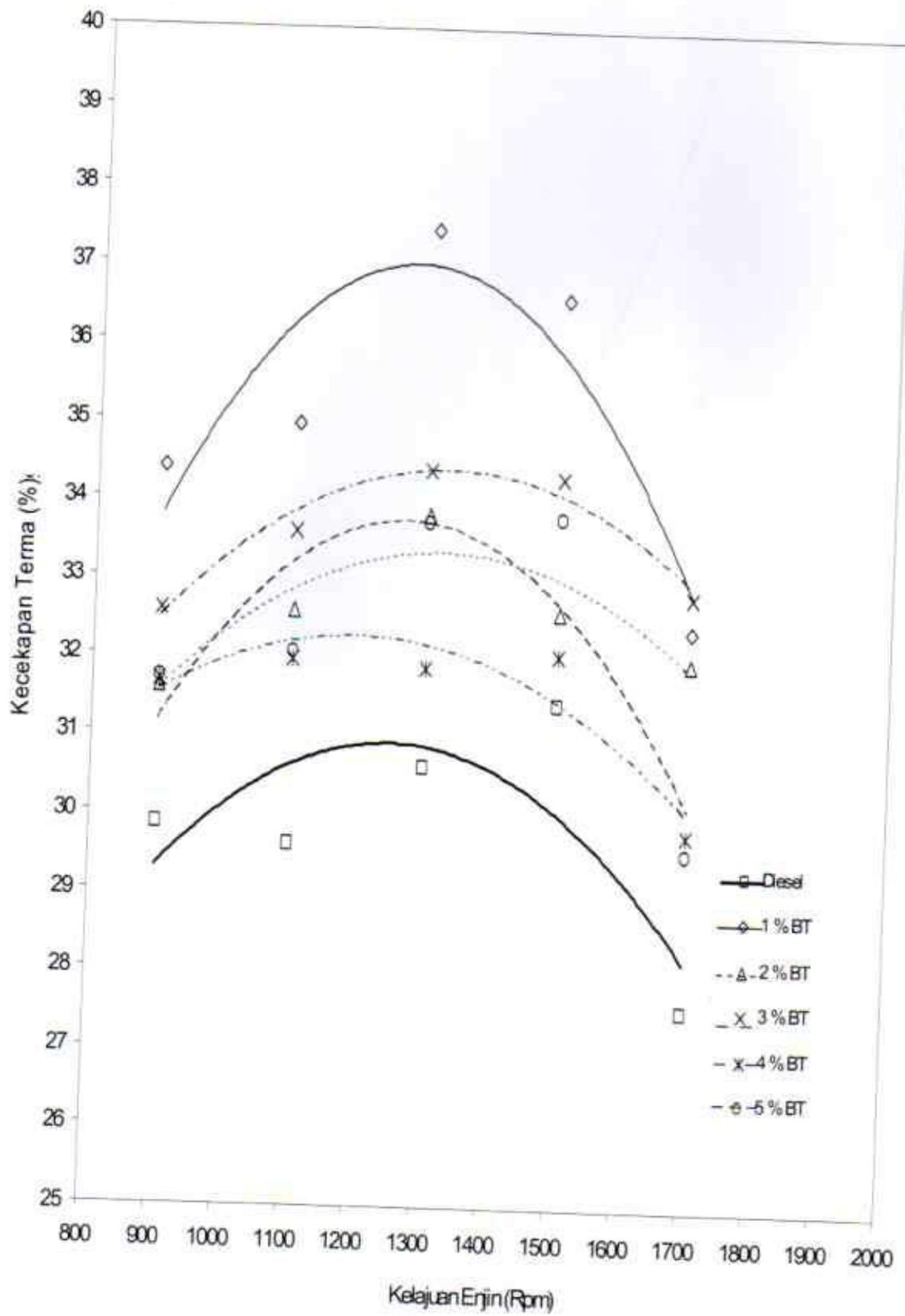
Rajah 5.4 Graf daya kilas melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



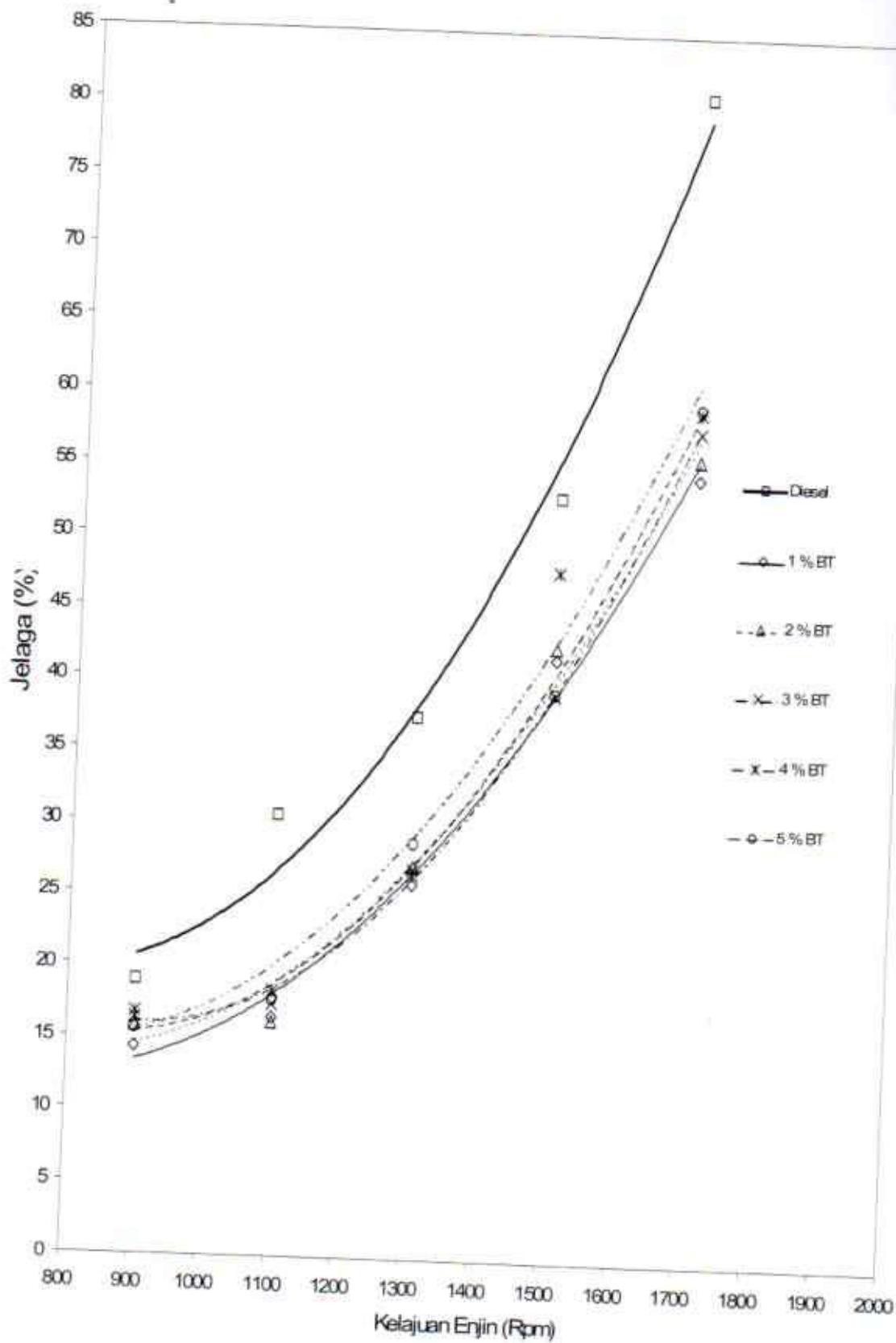
Rajah 5.5 Graf kuasa enjin melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



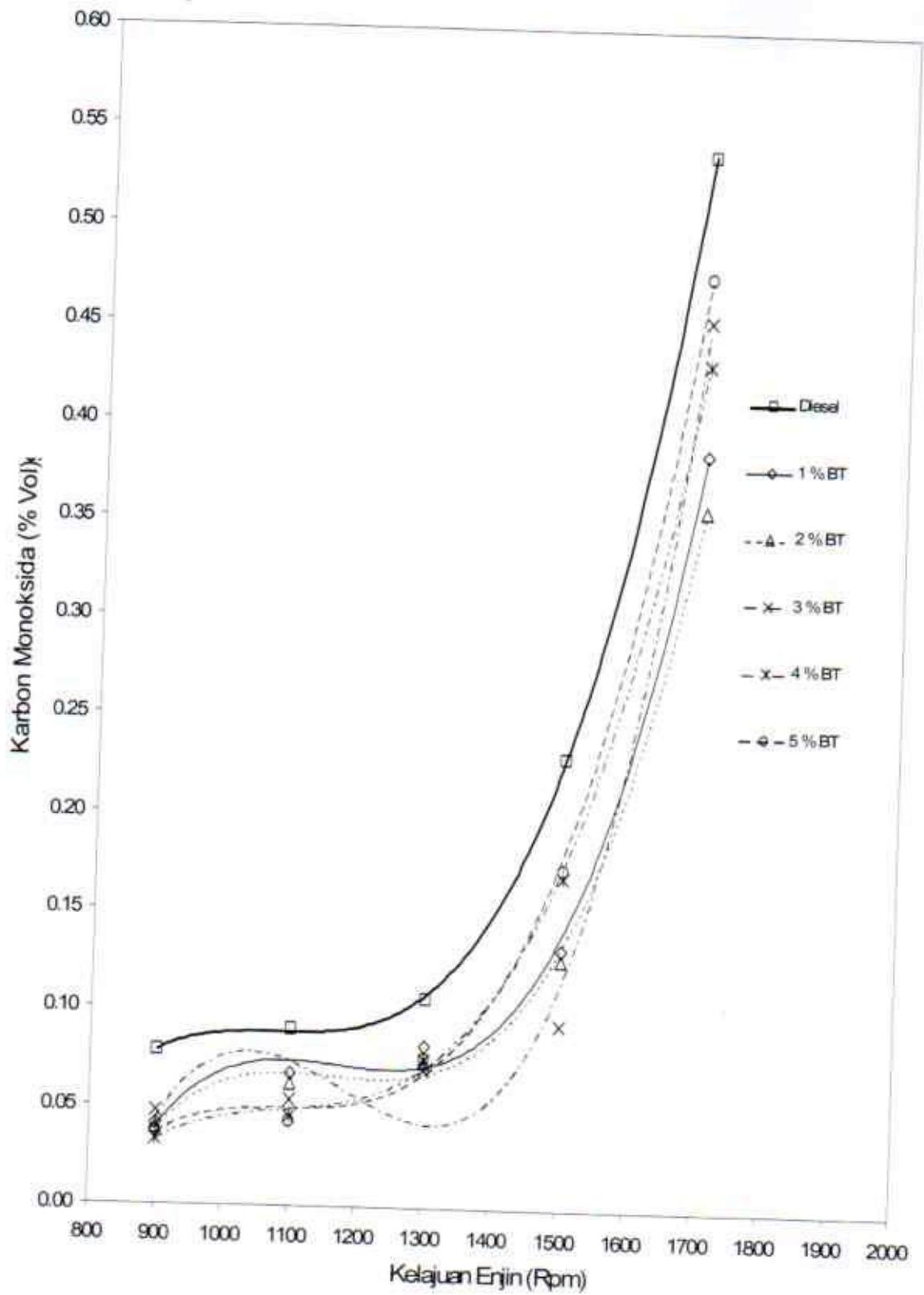
Rajah 5.6 Graf penggunaan bahan api tentu melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



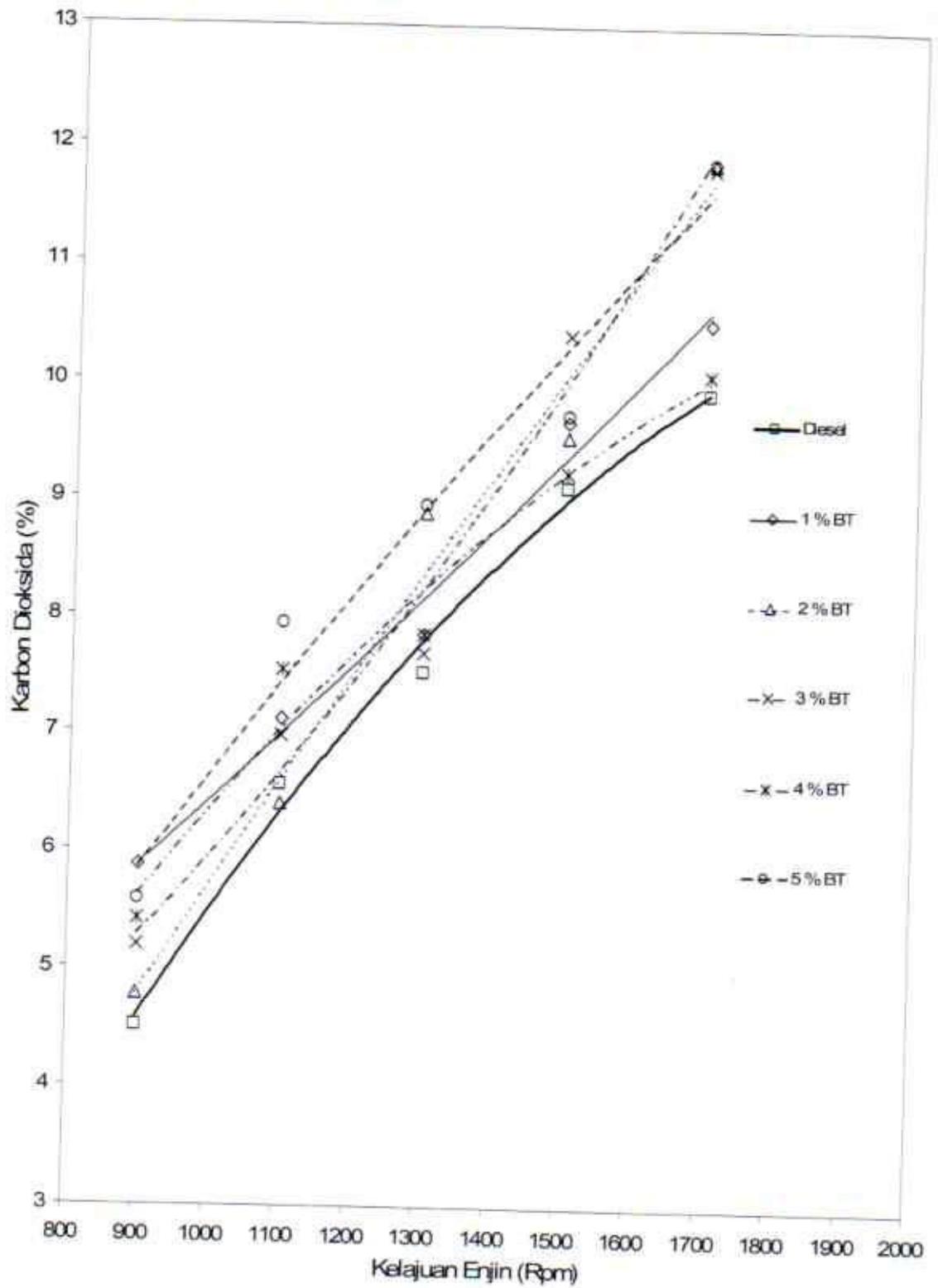
Rajah 5.7 Graf kecekapan terma melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan



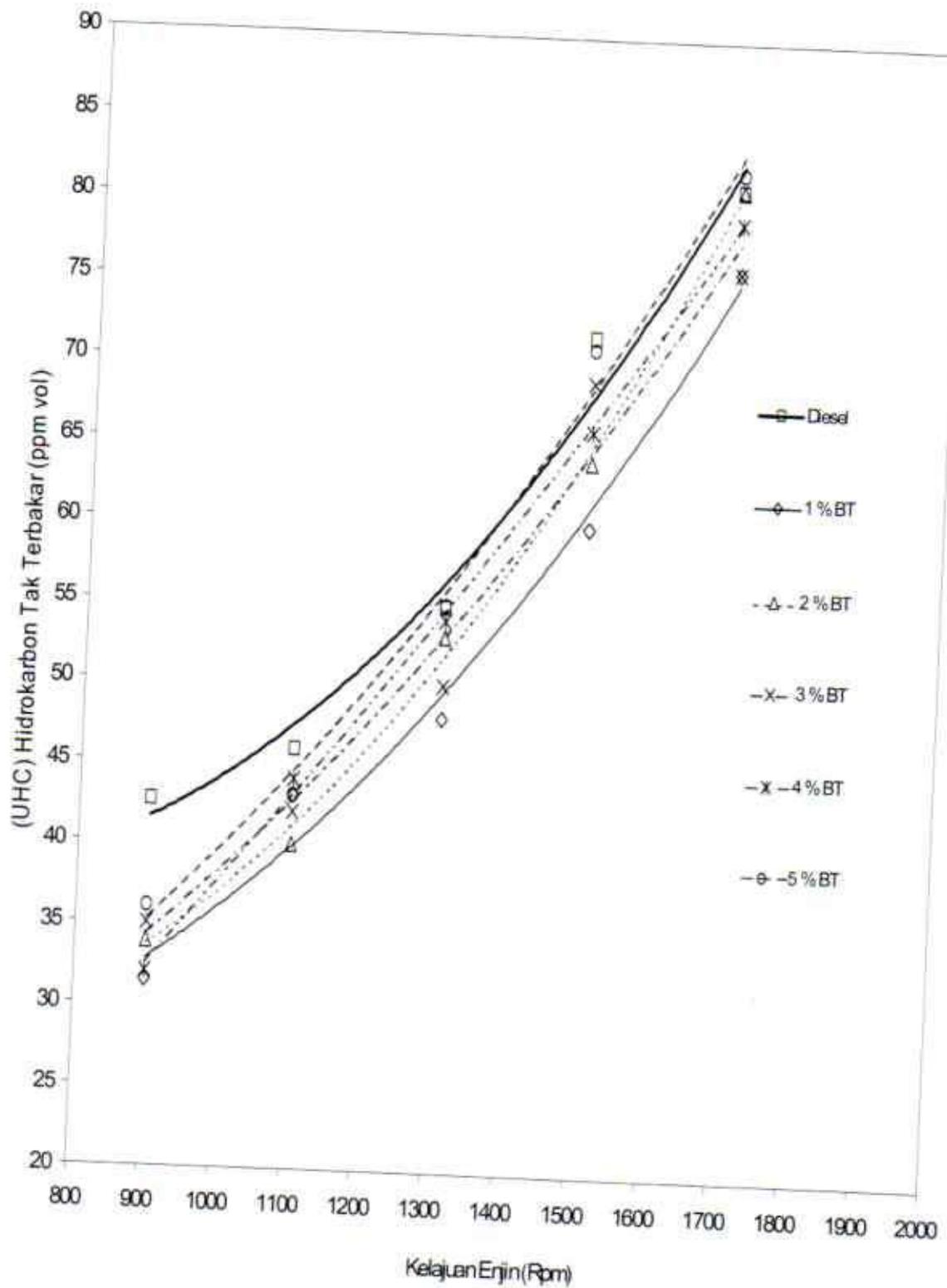
Rajah 5.8 Graf penggunaan jelaga melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



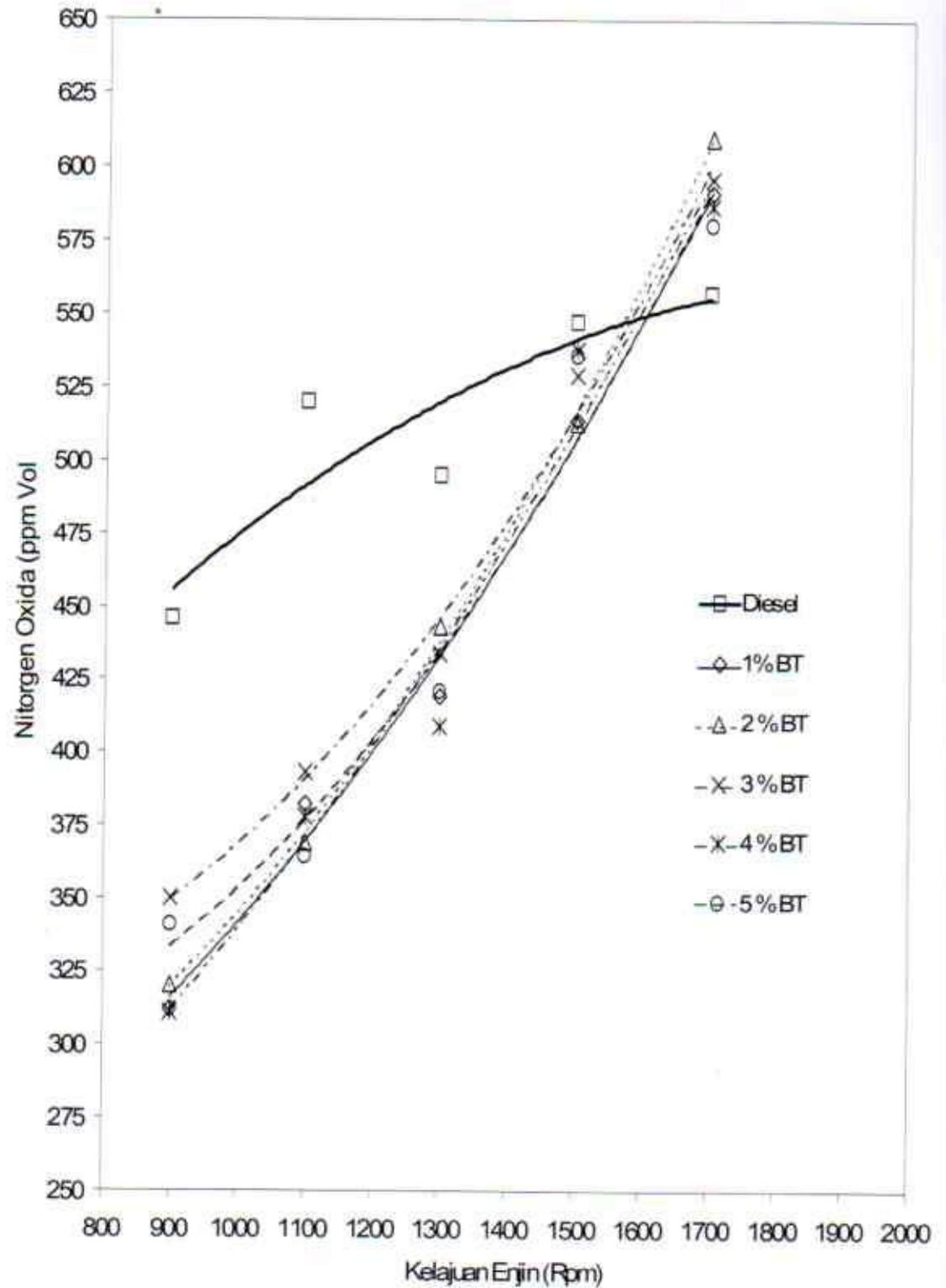
Rajah 5.9 Graf karbon monoksida (CO) melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



Rajah 5.10 Graf karbon dioksida (CO_2) melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



Rajah 5.11 Hidrokarbon tak terbakar (UHC) melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah



Rajah 5.12 Graf oksida nitrogen (NO_x) melawan kelajuan enjin pada pelbagai kadar bahan tambah

BAB VI

KESIMPULAN DAN CADANGAN

6.1 KESIMPULAN

Ujikaji kesan penambahan bahan tambah asid oleik kepada bahan api diesel telah berjaya dilakukan dan kajian ini dapat menjawab objektif yang ada pada kajian-kajian ini. Hasil ujikaji mendapati bahawa bahan tambah asid oleik boleh dicadangkan untuk digunakan sebagai campuran kepada bahan api diesel. Bahan tambah asid oleik ini dapat meningkatkan kualiti bahan api mahupun prestasi enjin. Penambahan campuran bahan tambah yang memberi kesan maksima ke dalam bahan api diesel iaitu pada kadar 1 %. Secara ringkas beberapa kesimpulan kajian ini adalah seperti berikut:

- i. Penambahan bahan tambah ozonida asid oleik sebanyak 1-5 % dengan julat 1% boleh meningkatkan tork dan kuasa enjin sebanyak 5% pada semua campuran berbanding bahan api diesel biasa.
- ii. Penambahan bahan tambah sebanyak 1% boleh menjimatkan penggunaan bahan api sehingga 12% berbanding bahan api disel biasa dan boleh meningkatkan kecekapan terma enjin sehingga 16% berbanding kecekapan terma bahan api diesel biasa.
- iii. Pencampuran bahan tambah sebanyak 1 % ke dalam bahan api diesel biasa sudah mencukupi memberikan kesan yang lebih baik berbanding dengan campuran yang tinggi.
- iv. Merujuk kepada emisi ekzos enjin diesel, penambahan bahan tambah ozonida asid oleik boleh memberikan kesan pengurangan pada jelaga berbanding bahan api diesel biasa. Emisi jelaga berkurang sehingga 30 % pada campuran sebanyak 1% berbanding bahan api diesel biasa.

- v. Penambahan ozonida asid oleik pada bahan api disel boleh memberikan kesan peningkatan pada prestasi enjin dan gas CO₂. Emisi CO₂ meningkat purata sebanyak 5% pada 1% campuran disel bahan tambah.
- vi. Emisi CO bahan api campuran juga terjadi penurunan yang signifikan berbanding bahan api diesel biasa. Penurunan yang maksimum terjadi pada campuran 2 % iaitu boleh menurunkan emis CO sebanyak 36 %. Campuran 1% bahan tambah juga boleh menurunkan CO sebanyak 35 % berbanding bahan api diesel biasa.
- vii. Emisi NO_x bahan api campuran yang dihasilkan terjadi penurunan pada kelajuan enjin rendah. Pada kelajuan enjin tinggi terjadi kenaikan purata pada setiap bahan api diesel bahan tambah berbanding bahan api diesel biasa. Pada campuran 1% disel bahan tambah terjadi peningkatan NO_x sebanyak 9% pada kelajuan enjin tinggi.

6.2 FAEDAH KAJIAN

Penggunaan bahan tambah ozonida asid oleik 1% telah dibuktikan memberikan kesan penjimatan bahan api diesel sehingga 12% dan juga meningkatkan kecekapan enjin sehingga 16%. Kesan kepada emisi ekzos enjin diesel boleh mengurangkan kadar gas ekzos berbahaya NO_x sehingga 9% dan CO sehingga 36% berbanding penggunaan bahan api tulen. Oleh itu, kajian ini bermanfaat secara ringkas ditunjukkan dibawah ini:

- i. Mengurangkan penggunaan bahan api diesel (12%)
- ii. Meningkatkan kualiti bahan api dan kecekapan enjin. (36%)
- iii. Mengurangkan emisi ekzos terutama jelaga yang mencemarkan atmosfera. (30%)

6.3 CADANGAN

Sebagai lanjutan kajian ini, beberapa kerja masa hadapan boleh dilakukan pada masa yang akan datang sebagai cadangan daripada penyelidikan adalah seperti berikut :

- i. Ujikaji penerapan kajian ini kepada enjin multi silinder
- ii. Mengkaji penerapan bahan tambah ini kepada kenderaan berenjin diesel
- iii. Mengkaji kesan getaran dan hingar pada kenderaan yang menggunakan enjin diesel.

RUJUKAN

- Ajav, E. A., Bachchan, S. Bhattacharya, T.K. 1999. *Experimental Study of Some Performance Parameters of a Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol Diesel Blends as Fuel*. Biomass and Bioenergy 17: 357-365
- Ancillotti, F. & Fattore, V. 1998. *Oxygenate fuels: Market Expansion And Catalytic Aspect of Synthesis*. Fuel Processing Technology 57 : 63-194.
- Anton. L. Wartawan. 1997. *Bahan Bakar Mesin Otomotif*. Jakarta : Penerbit Universitas Trisakti.
- Abdullahyi, S. 2005. *Penghasilan Sebatian Diol Berasaskan Asid Lemak Tak Tepu Minyak Sawit*. Latihan Ilmiah. Bangi : Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Chevron Technical Bulletin. (tanpa tarikh). What is/why oxygenated gasoline. (atas talian). <http://www.chevron.com/products/prodserv/fuels/bulletin/oxy-fuel/whwoxy.shtml> (20 Januari 2006).
- Cooney, A.M., Sneddon, A., Trainor, J.M., Ross, A.N., Mulqueen, S. 2003. *Friction Modifier for Hydrocarbon Fuels*. World Intellectual Property Organization. International Publication No. WO 03/070860 A1 under Patent Cooperation Treaty Application.
- Cowart, J.S., Boruta, W.E., Dalton, J.D., Dona, R.F., F.L. Rivard, F.L., Furby, R.S., Piontkowski, J.A., Seiter, R.E., Takai, R.M. 1995. *Power Train Development of the 1996 Ford Flexible Fuel*. Taurus: SAE Paper 952751.
- Demirbas, A. 2006. *Biodiesel Production Via Non-Catalytic SCF Method and Biodiesel Fuel Characteristics*. Energy Conversion and Management 47: 2271-2282.
- Derosa, T.F., Kaufman, B.J., Deblase, F.J., Hayden, T.E, Rawdon, M.G., Ketham, J.R., Thiel, Y. & Cesar, M.R. 2001. *Fuel Additive Composition for Improving Delivery of Friction Modifier*. World Intellectual Property Organization. International Publication No. WO 01/72930 A2 under Patent Cooperation Treaty Application.
- Erol A, Ismet C, 2005 *A Diesel Engines Performance and Exhaust Emissions*. *Amplifierd energy* 80 (2005) 11-22
- E Alptekin, 2008. *Determination of the Density and the Viscosities of Biodiesel Fuel Blends*. *Renewable Energy* page 2623-2630
- Escott N H. 1993. *Ultra Low NO_x Gas Turbine Combustion Chamber Design*. *University of Leeds*. Department of Fuel and Energy, PhD.
- Fergusson, C.R. & Kirkpatrick, A.T. 2001. *Internal Combustion Engine: Applied thermosciences*. New York: John Wiley & Sons.

- Freudenrich, C.C. (tanpa tarikh). How refining works. (atas talian) <http://science.howstuffworks.com/oil-refining5.html> (11 Januari 2006).
- Ganesan. 2002. *Internal Combustion Engine*. London: Mc Grawhill
- Goodger, E.M. 1975. *Hydrocarbon Fuel*. London : Macmillan
- Hamdan, M.A. & Jubran ,B.A. 1986. *The Effect of Ethanol Addition on the Performance of Diesel and Gasoline Engines*. *Dirasat* 13(10): 229-244.
- Hongmei Zhang & Jun Wang. 2006a. *Combustion Characteristics of Diesel Engine Operated with Diesel and Burning Oil of Biomass*. *Renewable Energy* 31(7):1025-1032.
- Hongmei Zhang & Jun Wang. 2007b. *Oil From Biomass Corncob Tar as a Fuel*. *Energy Conversion and Management* 48(5):1751-1757.
- Irfan Wahyudi, 2007. *Kesan Bahan Tambah Oksigenat Asid Oleik dalam Petrol Terhadap Prestasi Enjin dan Emisi Ekzos*. Bangi : Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Jiang, Q. Ottikkutti, P. Vangerpen, J. Van Meter, D. 1990. *Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Flame Temperature and Emissions*. *Transactions of the Society for Automotive Engineers* 99(3):892-915.
- Heywood, J.B. 2002. *Internal Combustion Fundamental*. London : Mc Grawhill
- Juliana Mohammad. 2002. *Penghasilan Antikarat daripada Hasil Minyak Kelapa Sawit*. Latihan Ilmiah. Bangi : Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Junbing, Y. 1999. *Tribochemical Research on Borate Esters Used as Lubricant Additives*. Report of Beijing Aviation Oil Research Institute.
- Jabatan Perdana Menteri – Unit Perancang Ekonomi & Majlis Tindakan Ekonomi Negara. 2005. *Penjelasan Isu Harga Minyak dan Subsidi*.
- Kates, E.J. 1972. *Diesel and High Compression Gas Engines Fundamentals*. London: Mc Grawhill
- Lang, G.J. & Palmer, F.H. 1989. The Use of Oxygenates in Motor Gasolines. Dlm. Owen, K. (pnyt.). *Gasoline and Diesel Fuel Additives* jil. 25, hlm. 133-168. New York: John Wiley & Sons.
- Li Xiaohu, Chen Honghyan, Zhu Zhiyong, Huang zhen, 2005. *Study of Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Operated with Dimethyl Carbonat*. *Energy conversion and management*

- Masjuki, H.H., Maleque, M.A., Kubo, A. & Nonaka, T. 1999. *Palm Oil and Mineral Oil Based Lubricants – Their Tribological and Emission Performance*. Tribology International 32: 305-314.
- Migahed, M.A., Abdul-El-Raouf, M., Al-Sabagh, A.M. & Abdul-El-Bary H.M. 2005. *Effectiveness of Some Non Ionic Surfactants as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel Pipelines in Oil Fields*. Electrochimica Acta 50: 4683-4689.
- Mulawa, P.A., Cadle, S.H., Knapp, K., Zweidinger, R., Snow, R., Lucas, R. & Goldbach, J. 1997. *Effect of Ambient Temperature and E-10 on Primary Exhaust Particulate Matter Emission from Light-Duty Vehicles*. Environmental Science and Technology 31(5): 1302-1307.
- M. Karabektas, Murat. H, 2008. *Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Using Isobutanol – Diesel Fuel Blends*. Renewable Energy 34(2009) 1554-1559.
- M Nazri M Jaafar. 2002. *Reduction of NO_x Emissions from Gas Turbine Combustor with Fuel Staging*. Jurnal Kejuruteraan
- Nwafor, O.M.I. 2004. *Emission Characteristic of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester*. Renewable Energy 29(1):119-129.
- Paper, A.G. 1996. *Anti-Wear and Extreme Pressure Additives in Lubricants*. Proceedings of the 10th International Colloquium Tribology, Tribology – Solving Friction and Wear Problems 2: 1093-1099.
- Pine, S.H. & Hendrikson, J.B. 1994. *Kimia Organik*. Terj. Hong, W.K. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- QRC Factory Kart. (tanpa tarikh). *Outlaw Kart Tech Talk-Specific Gravity Information*.(atastalian)http://www.qrckarts.com/store/index.cfm?fuseaction=page_display&page_id=20 (12 Jun 2007).
- Raheman H, Phadatare A G. 2004. *Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karaja Methyl Ester and Diesel*. Biomass and bioenergy 27 2004) 393 - 397
- Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C. & Jayaraj, S. 2005. *Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil*. Renewable Energy 30 (12):1789-1800.
- Reich, R. Cartes, M., Wisniak, J. & Segura, H. 1999. *Phase Equilibria in the Ternary System Hexane-Ethyl 1,1-Dimethylethyl Ether-Heptane*. Fluid Phase Equilibrium 154: 99-108.
- Ren Yi. Zuohua Huang. Haiyan Miao. Yage Di. Deming Jiang. Ke Zeng. Bing Liu. and Xibin Wang. 2008. *Combustion and Emissions of a DI Diesel Engine Fuelled with Diesel-Oxygenate Blends*. Fuel 87 (12):2691-2697.

- Reuter, R.M., Benson, J.D., Burns, V.R., Gorse, R.A., Hochheuser, A.M., Koehl, W.J., Painter, L.J., Rippon, B.H. & Rutherford, J.A. 1992. *Effects of Oxygenated Fuels and RVP on Automotive Emissions-Auto Oil Quality Improvement Program*. SAE Paper 920326.
- Rosli Hussin. 1996. *Enjin Kereta*. Dewan Bahasa dan Pustaka. Penerbit : Universiti Teknologi Malaysia.
- Rosell, M. Lacorte, E., Ginebreda, A. & Barcelo, D. 2003. *Simultaneous Determination of Methyl Tert-Butyl Ether and its Degradation Products, Other Gasoline Oxygenates and Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes in Catalonian Groundwater by Purge-and-Trap-Gas Chromatography-Mass Spectrometry*. Journal of Chromatography 995: 171-184.
- Shi, X., Y. Yu, H. He, S. Shuai, J. Wang, and R. Li. 2005. *Emission Characteristics Using Methyl Soyate-Ethanol-Diesel Fuel Blends on a Diesel Engine*. Fuel 84 (12-13):1543-1549.
- Staufen 1998. *Operating Instruction of System Calorimeter Control C5000*. Germany: Ika Werke.
- Stephen R. Turns. 2000. *An Introduction to Combustion*. London : Mc Grawhill
- Stone, R. 1985. *Pengenalan Kepada Enjin Penbakaran Dalam*. Terj. Khalid Hasnan. 1997. Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- Tadé, M.O. & Tian, Y. 2000. *Conversion Inference for ETBE Reactive Distillation*. Separation and Purification Technology 19: 85-91.
- Williams, J.A. 1994. *Engineering Tribology*. Oxford: Oxford University Press.
- Yamanaka, Y., Oi, T., Nanao, H. & Satoh, M. 2000. *Development of New Grinding Fluid for CBN Grinding Wheel: part V – A Study on the Grinding Performance of Various Types of Carboxylic Acids*. Lubrication Engineering 56(3): 25-31
- Yi Ren. Zuo Huang. 2008. *Combustion and Emission of a DI Diesel Engine Fuelled with Diesel-Oxygenate Blends*. Fuel page 2691 – 2697

LAMPIRAN A

KEPUTUSAN UJIKAJI PRESTASI ENJIN

Jadual A.1 Keputusan prestasi enjin bagi daya kilas

Kadar Bahan Tambah (%)	Tork (Nm)									
	900 Rpm	Kadar Perbezaan	1100 Rpm	Kadar Perbezaan	1300 Rpm	Kadar Perbezaan	1500 Rpm	Kadar Perbezaan	1700 Rpm	Kadar Perbezaan
Diesel	18.35		20.45		24.75		28.7		32.7	
1	18.1	-0.25	22.2	1.75	24.7	-0.05	28.6	-0.1	33.3	0.6
2	17.75	-0.6	20.95	0.5	24.75	0	28.4	-0.3	31.95	-0.75
3	18.65	0.3	21.45	1	25.75	1	27.9	-0.8	32.95	0.25
4	18.65	0.3	22.4	1.95	25.7	0.95	29	0.3	32.4	-0.3
5	17.85	-0.5	22.05	1.6	25.85	1.1	28.9	0.2	32.6	-0.1

Jadual A.2 Keputusan prestasi enjin bagi kuasa enjin

Kadar Bahan Tambah (%)	Kuasa (kW)									
	900 Rpm	Kadar Perbezaan	1100 Rpm	Kadar Perbezaan	1300 Rpm	Kadar Perbezaan	1500 Rpm	Kadar Perbezaan	1700 Rpm	Kadar Perbezaan
0	1.729		2.354		3.368		4.506		5.818	
1	1.705	-0.024	2.556	0.202	3.361	-0.007	4.49	-0.016	5.925	0.107
2	1.672	-0.057	2.412	0.058	3.368	0.000	4.459	-0.047	5.685	-0.133
3	1.757	0.028	2.470	0.116	3.504	0.136	4.380	-0.126	5.863	0.045
4	1.757	0.028	2.579	0.225	3.545	0.177	4.553	0.047	5.694	-0.124
5	1.681	-0.048	2.539	0.185	3.517	0.149	4.459	-0.047	5.801	-0.017

Jadual A.3 Keputusan prestasi enjin bagi penggunaan bahan api tentu

Kadar Bahan Tambah (%)	Penggunaan Bahan Api Tentu (Kg/kW.h)											
	900		1100		1300		1500		1700		Kadar	
	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan
0	0.264		0.267		0.258		0.246		0.287			
1	0.240	-0.024	0.225	-0.042	0.215	-0.043	0.215	-0.030	0.243	-0.044		
2	0.252	-0.012	0.249	-0.018	0.237	-0.021	0.239	0.023	0.254	-0.033		*
3	0.245	-0.019	0.244	-0.023	0.242	-0.016	0.231	-0.008	0.246	-0.041		
4	0.249	-0.015	0.243	-0.024	0.238	-0.020	0.241	0.010	0.275	-0.012		
5	0.249	-0.015	0.239	-0.028	0.236	-0.022	0.232	-0.009	0.252	-0.035		

Jadual A.3 Keputusan prestasi enjin bagi kecekapan terma enjin

Kadar Bahan Tambah (%)	Kecekapan Terma η_{th} (%)											
	900		1100		1300		1500		1700		Kadar	
	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan	Rpm	Perbezaan
0	29.84		29.59		30.61		32.15		27.54			
1	32.86	3.02	34.97	5.38	36.70	6.09	36.59	4.44	32.39	4.85		
2	31.15	1.31	31.47	1.88	33.14	2.53	32.84	0.69	30.83	3.29		
3	32.08	2.24	32.26	2.67	32.43	1.82	34.02	1.87	31.91	4.37		
4	31.67	1.83	32.39	2.80	33.14	2.53	32.67	0.52	28.71	1.17		
5	31.52	1.68	32.80	3.21	33.21	2.60	33.81	1.66	31.16	3.62		

LAMPIRAN B

KEPUTUSAN UJIKAJI EMISI EKZOS ENJIN

Jadual B.1 Keputusan emisi ekzos enjin bagi jelaga

Kadar Bahan Tambah (%)	Jelaga (%)											
	900		1100		1300		1500		1700		Kadar Perbezaan	
	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan
0	18.9		30.5		37.5		52.96		80.8			
1	14.35	-4.55	16.5	-14.00	25.95	-11.55	41.80	-11.16	54.55	-26.25		
2	12.78	-6.12	16.2	-14.30	19.2	-18.30	20.60	-21.36	57.9	-22.90		
3	13.35	-5.55	17.4	-13.10	20.95	-17.55	32.30	-20.66	57.8	-23.00		
4	14.05	-4.85	15.85	-14.65	26.65	-10.85	47.85	-5.11	59.1	-21.70		
5	15.6	-3.30	17.65	-12.85	28.8	-8.70	39.35	-13.61	59.4	-21.40		

Jadual B.2 Keputusan emisi ekzos enjin bagi karbon monoksida

Kadar Bahan Tambah (%)	Karbon Monoksida CO (% Vol)											
	900		1100		1300		1500		1700		Kadar Perbezaan	
	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan
0	0.068		0.090		0.106		0.230		0.538			
1	0.041	-0.027	0.067	-0.023	0.082	-0.024	0.132	-0.098	0.386	-0.152		
2	0.039	-0.029	0.062	-0.028	0.074	-0.032	0.127	-0.103	0.357	-0.181		
3	0.047	-0.021	0.054	-0.036	0.070	-0.036	0.094	-0.136	0.454	-0.084		
4	0.033	-0.035	0.045	-0.045	0.075	-0.031	0.169	-0.061	0.412	-0.116		
5	0.037	-0.031	0.033	-0.057	0.025	-0.081	0.073	-0.157	0.486	-0.072		

Jadual B.3 Keputusan emisi ekzos enjin bagi karbon dioksida

Kadar Bahan Tambah (%)	Karbon Dioksida CO ₂ (% Vol)														
	900 Rpm			1100 Rpm			1300 Rpm			1500 Rpm			1700 Rpm		
	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan		
Diesel		5.90		7.06		7.92		9.48		11.02					
1 % BT	-0.03	5.87	0.06	7.12	-0.070	7.850	0.19	9.67	0.06	10.52	-0.50				
2 % BT	-1.12	4.78	-0.65	6.41	0.970	8.89	0.06	9.54	0.93	11.87	0.85				
3 % BT	-0.70	5.20	-0.08	6.98	-0.230	7.69	-0.25	10.41	0.25	11.83	0.81				
4 % BT	-0.48	5.42	0.48	7.54	-0.070	7.850	-0.25	9.23	0.25	10.08	-0.94				
5 % BT	-0.33	5.575	0.88	7.94	1.030	8.95	0.25	9.73	0.25	11.87	0.85				

Jadual B.4 Keputusan emisi ekzos enjin bagi hidrokarbon tak terbakar

Kadar Bahan Tambah (%)	Hidrokarbon Tak Terbakar UHC (% Vol)														
	900 Rpm			1100 Rpm			1300 Rpm			1500 Rpm			1700 Rpm		
	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan		
0		52		60		67		75		81					
1	-13	39	-17	43	-19	48	-15	60	-11	76	-5				
2	-16	36	-20	40	-14	53	-6	64	-9	81	0				
3	-17	35	-18	42	-17	50	-6	69	-2	76	-5				
4	-20	32	-16	44	-13	54	-4	66	-4	79	-2				
5	-18	34	-17	43	-12	55	-4	71	-4	82	1				

Jadual B.5 Keputusan emisi ekzos enjin bagi NOx

Kadar Bahan Tambah (%)	Nitrogen Oksida NOx (ppm Vol)											
	900		1100		1300		1500		1700		Kadar Perbezaan	
	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan	Rpm	Kadar Perbezaan
0	316		362		425		517		561		591	
1	312	-4	382	20	419	-6	514	-3	591	-3	610	30
2	320	4	369	7	443	18	513	-4	591	-4	610	49
3	350	34	393	31	434	9	529	12	596	12	596	35
4	311	-5	378	16	409	-16	538	21	587	21	587	26
5	341	25	364.5	3	421	-4	535.5	19	580.5	19	580.5	20

LAMPIRAN C
KEPUTUSAN UJIAN BAGI PENENTUKURAN NILAI KALORI

Jadual C.1 Keputusan ujian penentukuran asid benzoik

Ujian	Jisim, m (g)	Muatan Haba, C (J/K)	Nilai Kalori (J/g)
1	0.9998	10776	26457
2	1.0105	10777	26457
3	1.0027	10783	26457
4	0.9900	10778	26457
Purata	-	10777	26457

Pengiraan Bagi Ujian Penentukuran

Nilai kalori bagi asid benzoik piawai iaitu 26457 J/g digunakan dalam pengiraan ujian penentukuran nilai kalori. Contoh pengiraan nilai muatan haba bagi ujian penentukuran pada ujian kedua:

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \frac{H_{ob} \times m + Q_1}{\Delta T} \\
 &= \frac{(26457 \text{ J/g} \times 1.0105 \text{ g}) + 120 \text{ J}}{2.4920 \text{ K}} \\
 &= 10776 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Nilai Purata

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n} \\
 &= \frac{10775 + 10776 + 10782 + 10777}{4} \\
 &= 10777 \text{ J/K}
 \end{aligned}$$

Purata Ralat Relatif .

$$\begin{aligned}
 M_w &= 100 \frac{1}{C_p} \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2}{n-1}} \\
 &= 100 \frac{1}{10777} \sqrt{\frac{(-1)^2 + (-1)^2 + (-1)^2 + (-1)^2}{4-1}} \\
 &= 0.014\%
 \end{aligned}$$

Nilai purata ralat relatif adalah 0.014%, Nilai ini menunjukkan kejituan nilai muatan haba yang ditetapkan. Nilai ini adalah kurang daripada 0.2%, ini menunjukkan bahawa sistem masih beroperasi dengan baik mengikut piawai ISO 1928.

Julat Penyerakan

$$\begin{aligned}
 \text{Maks-Min} &= C_{\text{maks}} - C_{\text{min}} \\
 &= 10783 - 10776 \\
 &= 7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diff} &= \frac{\text{Maks} - \text{Min}}{C_p} \times 100\% \\
 &= \frac{7}{10777} \times 100\% \\
 &= 0.065\%
 \end{aligned}$$

Nilai penyerakan (*Diff*) adalah 0.065%. Nilai ini adalah kurang daripada 0.4%. Hasil ini menunjukkan sistem ini dapat memberikan keputusan yang jitu mengikut piawai DIN 51900