



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RESONATOR ORTOGONAL UNTUK PEMBANGKIT POLARISASI  
DENGAN MENGADAPTASI METODE INTEGRASI ANTENA DAN  
FILTER**

**RINGKASAN DISERTASI**

**DWI ASTUTI CAHYASIWI  
1706009714**

**Promotor:**

**Prof. Dr Ir. Eko Tjipto Rahardo, M. Sc.**

**Ko-promotor:**

**Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M. Sc., IPU**

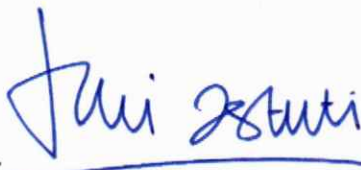
**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM DOKTOR DEPARTEMEN ELEKTRO  
DEPOK  
2021**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Hasil Riset ini ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama: Dwi Astuti Cahyasiwi

NPM: 17006009714

Tanda Tangan : 

Tanggal: 4 Januari 2022











## HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh

Nama : Dwi Astuti Cahyasiwi  
NPM : 17006009714  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Disertasi : Resonator Ortogonal Untuk Pembangkit Polarisasi dengan Mengadaptasi Metode Integrasi Antena dan Filter

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof.Dr. Ir Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc (  )  
Kopromotor : Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, M.Sc, IPU (  )  
Tim Penguji : Prof. Dr. Ir Harry Soedibyo, DEA (Ketua) (  )  
Prof. Dr.-Ing. Mudrik Alaydrus (Anggota) (  )  
Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M. Eng (Anggota) (  )  
Prof. Dr. Ir. Muhamad Asvial, M. Eng (Anggota) (  )  
Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D. (Anggota) (  )  
Dr. Basari, S.T., M.Eng. (Anggota) (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Januari 2022



## KATA PENGANTAR

*Bismillaahirrohmaanirroohiim*, Alhamdulillah, puji syukur saya sampaikan ke pada Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan disertasi saya yang berjudul: **Resonator Ortogonal untuk Pembangkit Polarisasi Dengan Mengadaptasi Metode Integrasi Antena dan Filter**. Penulisan buku disertasi ini dilakukan sebagai prasyarat untuk dapat melakukan sidang promosi dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Doktor pada Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa penyelesaian disertasi ini merupakan kontribusi dari berbagai pihak, mulai dari masa persiapan, awal perkuliahan hingga sampai penyusunan disertasi ini. Maka saya ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M. Sc selaku Promotor yang telah memberi kesempatan, arahan dan bimbingan selama melakukan riset sampai selesai penulisan buku disertasi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, M. Sc, IPU selaku Ko-promotor yang juga telah memberikan saran, arahan, bimbingan, kritik dan dukungan dalam penyelesaian disertasi ini.
3. Ir. Gunawan Wibisono, M. Sc, Ph.D., Dr. Basari, S.T., M. Eng., Prof. Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng, Prof. Dadang Gunawan, M.Eng dan Prof. Dr.-ing. Mudrik Alaydrus selaku dewan penguji, atas semua masukannya dalam penyempurnaan penulisan disertasi ini.
4. Rekan-rekan mahasiswa program S1, S2, dan S3 Departemen Teknik Elektro FT UI atas segala bantuan, dukungan dan diskusinya selama masa studi.
5. Bapak Dr. Ir. Aries Subianto selaku Kepala Departemen Elektro UI, yang telah memfasilitasi penggunaan perangkat pengukuran di laboratorium Teknik Telekomunikasi di saat situasi pandemi.
6. Rekan-rekan di Lembaga Penelitian Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN) atas bantuan fasilitas laboratorium dan proses pengukuran.
7. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mendukung pendanaan selama masa studi melalui program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia (BUDI) yang diselenggarakan oleh Kemendikbud dan Ristek.
8. Kepada segenap Pimpinan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Pimpinan Fakultas Teknik, Ketua Prodi Teknik Elektro, rekan-rekan dosen dan keluarga besar FT UHAMKA yang telah memberikan dukungan untuk saya bisa segera menyelesaikan studi ini.
9. Terima kasih juga ingin saya sampaikan kepada rekan-rekan S1 dan S3. Tri Putra, Fathul Muin, Kevin dan Galih Adhiyoga yang dengan tekun dan sabar telah membantu proses

pengukuran. Kepada Yus Natali, Dian Widiastuti yang telah menginspirasi sehingga saya mengambil topik antena-filter ini, sekaligus juga menjadi teman curhat dan rekan seperjuangan. Terima kasih juga kepada rekan-rekan di AMRG Pak Teguh Firmansyah, Pak Arie Pangestu, Pak Adi, Pak Bambang Dewandaru, Pak Ibrahim yang sudah memotivasi dan jadi teman diskusi yang penuh semangat.

10. Dan teman-teman seangkatan S3 2017 di EC 501 dan 502 terima kasih atas dukungannya dan tetap semangat bagi yang belum selesai semoga cepat menyusul.

11. Untuk keluarga di rumah Ibunda, terima kasih ananda sampaikan, atas segala doa, jerih payahnya mendidik saya, menyemangati untuk selalu bisa berkiprah dimanapun posisi saya.

12. Kepada Mbak Lis dan Dik Tri terima kasih atas doa dan dukungannya selalu.

13. Kepada anak-anakku Nadia, Mafaza, Fakhri, Hana dan Dhio terima kasih atas dukungan, dan pengertiannya untuk memahami kesibukan Mama hingga mengurangi waktu interaksi dengan kalian selama ini. Mama doakan semoga kalian dapat menggapai semua yang dicita-citakan dan melakukan yang terbaik. I love you all.

14. Terakhir kepada teman diskusi di rumah, Arry Yanuar, yang selalu bersedia menjadi komentator dan penyemangat. Terima kasih, karena di sela-sela kesibukannya masih mau meluangkan waktu untuk ikut membantu pengolahan data, membuat kopi dan menemani belajar.

Akhir kata penulis juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas semua dukungannya. Semoga hasil disertasi ini memberi manfaat bagi masyarakat banyak dan memberi kontribusi khususnya di bidang elektro.

Depok, Desember 2021

Penulis

**PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIK**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dwi Astuti Cahyasiwi  
NPM : 17006009714  
Program Studi : Teknik Elektro

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Resonator Ortogonal Untuk Pengaturan Polarisasi dengan Mengadaptasi Metode Integrasi Antena dan Filter**

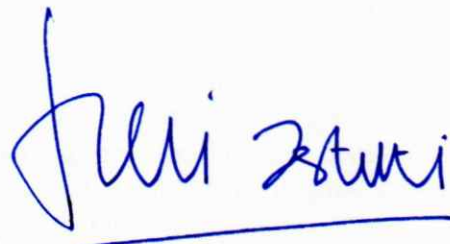
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan disertasi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: 4 Januari 2022

Yang menyatakan



(Dwi Astuti Cahyasiwi)





## ABSTRAK

Nama : Dwi Astuti Cahyasiwi  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Resonator Ortogonal untuk Pembangkit Polarisasi dengan  
Mengadaptasi Metode Integrasi Antena dan Filter  
Pembimbing : Prof. Dr Ir. Eko Tjipto Rahardo, M. Sc  
Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc, IPU

Polarisasi merupakan salah satu parameter antena yang telah banyak diteliti untuk menjawab kebutuhan aplikasi sistem komunikasi nirkabel. Polarisasi adalah parameter yang menunjukkan bagaimana medan listrik pada gelombang elektromagnetik beradiasi pada medan jauh. Keberagaman polarisasi menjadi salah satu cara dalam meningkatkan kapasitas transmisi sistem komunikasi nirkabel dan bergerak, karena penggunaan antena dengan polarisasi yang berbeda maka spektrum frekuensi dapat kembali digunakan. Beberapa metode untuk mengatur polarisasi telah diteliti baik untuk polarisasi linier maupun melingkar. Beberapa metode juga telah mengajukan pembangkit polarisasi dengan struktur yang serupa namun dengan tambahan rekonfigurasi dapat menghasilkan polarisasi linier dan melingkar. Dari metode terdahulu belum pernah menggunakan metode pembangkit polarisasi yang dapat juga menambahkan parameter antena dengan kemampuan seleksi sebagaimana sebuah filter. Kemampuan filter untuk melewatkan daya pada frekuensi operasi dan menahan daya di luar frekuensi operasinya merupakan fungsi yang penting untuk mencegah terjadinya interferensi pada sinyal telekomunikasi. Selama ini teknik pembangkit polarisasi dan teknik untuk menghasilkan selektifitas pada antena merupakan dua metode yang terpisah. Penelitian ini mengajukan sebuah metode yang menggabungkan teknik pembangkit polarisasi dan teknik pembentuk selektifitas menjadi satu metode yang sama, karena kebutuhan telekomunikasi nirkabel di masa yang akan datang adalah penggunaan perangkat yang terintegrasi dan multifungsi.

Disertasi ini mengajukan sebuah metode untuk membangkitkan polarisasi berdasarkan teori polarisasi umum. Medan listrik berjalan yang mewakili polarisasi antena sesungguhnya dapat diuraikan menjadi dua komponen medan listrik maya dengan arah vertikal dan horisontal, sehingga kedua medan listrik yang ortogonal ini dapat diwakili masing-masingnya oleh resonator dengan arah arus permukaan vertikal dan horisontal. Saat penggabungan kedua resonator ini dilakukan, maka polarisasi dapat dibangkitkan menjadi vertikal,  $75^\circ$ ,  $45^\circ$  serta melingkar dengan mengubah variabel panjang dan lebar radiator, jarak antara radiator dan resonator serta jarak antara resonator. Integrasi komponen radiator dan resonator ini mengadaptasi integrasi antena-filter menggunakan pencatu tunggal. Metode yang diajukan dimodelkan pada radiator berbentuk persegi dengan arus permukaan vertikal serta resonator yang memberikan arus permukaan horisontal yang dapat direpresentasikan antara lain oleh dua jenis resonator yaitu, *interdigital* dengan lubang via dan *hairpin*, dimana kedua resonator ini membentuk komponen ortogonal jika masing-masingnya diintegrasikan dengan radiator persegi.

Pengujian model dilakukan secara simulasi dan diverifikasi dengan pembuatan sebuah purwarupa antena dengan polarisasi  $45^\circ$  dan dua buah antena dengan polarisasi melingkar serta divalidasi dengan pengukuran. Hasil desain antena-filter dengan resonator *interdigital* membuktikan bahwa metode yang diajukan berhasil membangkitkan polarisasi vertikal,  $75^\circ$ ,  $45^\circ$  pada frekuensi kerja 4.65 GHz, lebar pita impedansi -10 dB sebesar 300 MHz, dan perolehan masing-masing 5,4 dBi, 6,7 dBi dan 6,82 dBi. Antena-filter dengan polarisasi melingkar menggunakan sebuah resonator *interdigital* berhasil diperoleh dengan frekuensi kerja 4,65 GHz, perolehan 6,467 dBi, lebar pita impedansi -10 dB sebesar 224 MHz dan lebar pita rasio aksial 160 MHz. Antena-filter dengan polarisasi melingkar menggunakan sebuah resonator *hairpin* juga diperoleh dengan frekuensi kerja 2,58 GHz, lebar pita impedansi -10 dB

sebesar 133 MHz, lebar pita rasio aksial 20 MHz dan perolehan 6,8 dBi yang dapat digunakan untuk aplikasi satelit *broadcast*. Seluruh antena juga memiliki respon perolehan seperti respon filter lolos-pita sebagaimana respon antena-filter. Maka dapat disimpulkan bahwa polarisasi dapat dibangkitkan dengan integrasi dua komponen resonator ortogonal mengadaptasi metode integrasi antena dan filter, dimana keseimbangan besar medan ortogonal dipengaruhi oleh panjang dan lebar radiator persegi, sedangkan perbedaan fasa dipengaruhi oleh besar celah antara radiator dengan resonator.

Kata Kunci: *antena-filter, hairpin, interdigital, polarisasi 45°, polarisasi melingkar, resonator ortogonal.*

## ABSTRACT

Name : Dwi Astuti Cahyasiwi  
Department : Electrical Engineering  
Title : Orthogonal Resonators for Polarization Excitation Adapting  
Antenna and Filter Integration  
Supervisor : Prof. Dr Ir. Eko Tjipto Rahardo, M. Sc  
Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc, IPU

One of the antenna's parameters being discussed widely is its polarization, representing the way the electrical field propagates in the far-field. Polarization diversity is one of the solutions to increase the channel capacity and avoid the cross-band interference. Some methods to excite polarization have been studied both for linear and circular polarization. There has been polarization excitation using the same structure, and with an additional reconfigure, it can perform linear or circular polarization. However, it has never been a polarization excitation method that can also add a selectivity feature to an antenna as in the filter function. A filter can pass the power in the bandpass and block the power out of the bandwidth, which is an essential function to avoid signal interference. In the previous studies, techniques for exciting polarization and techniques for selectivity forming in the antennas are two different methods. While at the same time, the need for wireless telecommunications in the future is the use of integrated and multifunctional devices. So, this study proposes a technique that combines polarization excitation techniques and selectivity shaping techniques into the same method.

This dissertation proposes a method for generating polarization based on general polarization theory. The propagate electric field, representing the antenna's polarization, can be decomposed into two virtual electric field components with vertical and horizontal directions. These two orthogonal electric fields can be represented respectively by resonators with vertical and horizontal surface current directions. Integration of radiator and resonator components adapts antenna-filter integration using a single feed. The proposed method is proved on a rectangular radiator and two different types of resonators which are the interdigital and hairpin.

To prove the method, three prototype filtering antennas each with a vertical,  $75^\circ$ , and  $45^\circ$  polarization and two filtering antennas with circular polarization are designed and validated using measurement. The results of the filtering antenna with the interdigital resonator proved that the proposed method had succeeded in generating  $45^\circ$  polarization at an operating frequency of 4.65 GHz, an impedance bandwidth -10 dB of 300 MHz, and a gain of 5.4 dBi, 6.7 dBi and 6.82 dBi respectively. Filtering antenna with circular polarization using an interdigital resonator is obtained with a frequency of 4.65 GHz, 6.467 dBi gain, -10 dB impedance bandwidth of 224 MHz and 160 MHz axial ratio bandwidth. Filtering antenna with circular polarization using a hairpin resonator is also obtained with a frequency of 2.58 GHz, -10 dB impedance bandwidth of 133 MHz, 3 dB axial ratio bandwidth of 20 MHz and gain of 6.8 dBi which can be used for broadcast satellite applications. The three antennas have bandpass filter gain responses as is a filtering antenna. It is proven that polarization can be generated by integrating two orthogonal resonator components adapting the antenna and filter integration method, where the balance of the orthogonal magnitude of electrical field is affected by the length and width of the square radiator, while the phase difference is stimulated by the gap between the radiator and the resonator.

Keywords: *circular polarization, 45° polarization, filtering antenna, hairpin, interdigital, orthogonal resonator.*

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xxv</b>
<b>BAB.1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Keterbaharuan .....	6
1.6 Manfaat Penelitian .....	7
1.7 Sistematika Penulisan.....	8
<b>BAB.2 TEKNIK PEMBANGKIT POLARISASI DAN INTEGRASI ANTENA-FILTER</b> .....	<b>9</b>
2.1 Teori Polarisasi.....	9
2.2 Polarisasi 45°.....	11
2.2.1 Merotasi atau membuat struktur radiator dengan sudut 45° .....	12
2.2.2 Penambahan <i>polarizer</i> .....	13
2.2.3 Struktur yang memiliki komponen $E\theta$ dan $E\Phi$ ortogonal .....	14
2.3 Polarisasi Melingkar.....	15
2.3.1 Menggunakan pencatu tunggal .....	15
2.3.2 Metode dua pencatu .....	16
2.3.3 Penggabungan dua komponen ortogonal .....	18
2.3.4 Penggunaan pengubah polarisasi .....	19
2.4 Pembangkit Polarisasi .....	19
2.5 Filter .....	22
2.5.1 Parameter filter .....	23
2.5.2 Jenis-jenis filter .....	26
2.5.2.a Respon Butterworth .....	26
2.5.2.b Respon Chebyshev .....	27
2.5.2.c Filter Besel .....	28
2.6 Integrasi Antena-Filter .....	28
2.7 Posisi Penelitian .....	32
<b>BAB.3 METODE PEMBANGKIT POLARISASI MENGGUNAKAN RESONATOR ORTOGONAL</b> .....	<b>37</b>
3.1 Metode Resonator Ortogonal untuk Membangkitkan Polarisasi .....	39
3.2 Realisasi Struktur Resonator dan Radiator Ortogonal .....	42
3.2.1 Radiator persegi .....	43

3.2.2	Resonator <i>Interdigital</i> .....	46
3.2.3	Resonator Hairpin .....	49
<b>BAB.4 ANTENA-FILTER PEMBANGKIT POLARISASI LINIER .....</b>		<b>53</b>
4.1	Antena-Filter Ordo Tiga Polarisasi Vertikal .....	55
4.1.1	Disain Antena I .....	56
4.1.2	Hasil dan Pembahasan.....	57
4.2	Antena-Filter Ordo Dua Polarisasi 75° .....	60
4.2.1	Disain Antena II .....	60
4.2.2	Hasil dan Pembahasan.....	62
4.3	Antena-Filter Ordo Tiga Polarisasi 45° .....	67
4.3.1	Disain Antena III.....	68
4.3.2	Hasil dan Pembahasan.....	70
4.4	Perbandingan dengan penelitian terdahulu .....	81
4.5	Kesimpulan .....	83
<b>BAB.5 ANTENA-FILTER PEMBANGKIT POLARISASI MELINGKAR .....</b>		<b>85</b>
5.1	Perbedaan fasa 90° .....	87
5.1.1	Perbedaan fasa 90° pada Antena-Filter <i>Interdigital</i> .....	87
5.1.2	Perbedaan fasa 90° pada Antena-Filter <i>Hairpin</i> .....	88
5.2	Antena-Filter dengan Resonator <i>Interdigital</i> Tunggal .....	89
5.2.1	Desain.....	89
5.2.2	Hasil dan Pembahasan.....	92
5.3	Antena-Filter dengan Resonator <i>Hairpin</i> Tunggal .....	100
5.3.1	Desain.....	101
5.3.2	Hasil dan Pembahasan.....	104
5.4	Perbandingan dengan penelitian terdahulu .....	110
5.5	Kesimpulan .....	113
<b>BAB.6 KESIMPULAN DAN PENELITIAN LANJUTAN.....</b>		<b>115</b>
6.1	Kesimpulan .....	115
6.2	Saran untuk Penelitian Lanjutan .....	115
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>		<b>119</b>
<b>LAMPIRAN A. RUMUS PENGUKURAN PEROLEHAN.....</b>		<b>131</b>
<b>LAMPIRAN B. PENGATURAN PENGUKURAN.....</b>		<b>133</b>
<b>LAMPIRAN C. DAFTAR INSTRUMEN PENGUKURAN.....</b>		<b>141</b>
<b>LAMPIRAN D. RANGKAIAN EKIVALEN .....</b>		<b>143</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil ekstraksi radiator persegi untuk memperoleh rasio $L_P$ dan $W_P$ pada frekuensi kerja 4,65 GHz dan 2,58 GHz.....	45
Tabel 4.1. Parameter filter ordo 2 dan 3 .....	55
Tabel 4.2 Perbandingan metode antena-filter polarisasi linier yang diajukan dengan penelitian terdahulu .....	82
Tabel 5.1 Perbandingan metode yang diajukan dengan penelitian terdahulu .....	112
Tabel C.1 Daftar instrument yang digunakan pada pengukuran .....	141





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema keterkaitan antara Bab III sampai dengan Bab V .....	8
Gambar 2.1 Skema polarisasi pada bidang datar.....	10
Gambar 2.2 Beberapa desain antenna dipol polarisasi 45° dengan metode memutar radiatornya (a), (b) dan (c) [66], [70], [68] serta (d) membuat struktur dengan sudut 45° [25] .....	12
Gambar 2.3 Berbagai macam jenis komponen pembalik polarisasi linier menjadi polarisasi 45° (a) menggunakan komponen magnetik dan listrik sempurna [64] (b) 2 lapisan garis metal dengan sudut yang berbeda [22] .....	13
Gambar 2.4 Metode pengaturan polarisasi menggunakan antenna yang ortogonal (a) Cross Dipol untuk menghasilkan polarisasi ±45 menggunakan pin diode [10] (b) dipol tapak kuda ortogonal [61].....	14
Gambar 2.5 Antena pencatu tunggal dengan polarisasi melingkar menggunakan metode (a) pemotongan radiator diagonal dan penambahan parasitic elemen [30] (b) perturbasi pada radiator [76] (c) memberi perturbasi pada radiator dan tambahan elemen filter [60].....	15
Gambar 2.6 Antena filter dengan polarisasi melingkar pencatu ortogonal (a) menggunakan resonator garis $\lambda/4$ [37] dan (b) menggunakan resonator cincin terputus [36].....	17
Gambar 2.7 Penggabungan 2 komponen ortogonal dalam pembangkitan polarisasi linier menggunakan (a) <i>ground</i> dan <i>stub</i> ortogonal [40] (b) radiator dipol silang [10] .....	18
Gambar 2.8 Struktur pengubah polarisasi melingkar menggunakan (a) interdigital dan resonator garis [44] (b) elips yang terputus [45] .....	19
Gambar 2.9 Pengaturan polarisasi (a) vertikal dan (b) melingkar pada antenna-filter menggunakan pencatu koaksial dan resonator parasitik [15].....	20
Gambar 2.10 Desain pengaturan polarisasi (a) vertikal/horisontal (b) ±45° (c) PMTKi/PMTKa menggunakan antenna dipol silang [10].....	21
Gambar 2.11 Antena rhombic dengan kemampuan mengatur polarisasi PMTKa/PMTKi dan ±45° menggunakan dioda PIN [69] .....	22
Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen filter dengan ordo N [79] .....	24
Gambar 2.13 Respon filter Butterworth [77].....	26
Gambar 2.14 Redaman filter Chebyshev dibandingkan dengan Butterworth [77] .....	27
Gambar 2.15 Rangkaian ekivalen filtering antenna [79].....	31
Gambar 2.16 Antena-filter dengan mengintegrasikan radiator lingkaran dengan dua buah resonator hairpin [100] .....	32
Gambar 2.17 Posisi metode integrasi resonator ortogonal (blok kuning) dalam membangkitkan polarisasi melingkar dan linier 45° .....	35
Gambar 2.18 Skema penelitian turunan resonator ortogonal yang dikembangkan dalam mengatasi keterbatasan sumber daya frekuensi.....	36
Gambar 3.1 Tahap disain resonator ortogonal untuk menghasilkan antenna-filter dengan polarisasi 45° dan melingkar .....	37
Gambar 3.2 Manfaat teknik resonator ortogonal untuk menghasilkan antenna dengan fitur polaritas dan kemampuan seleksi dalam meringkas proses desain. ....	39
Gambar 3.3 Ilustrasi metode pembangkitan polarisasi dengan dua pencatu ortogonal..	40

Gambar 3.4	Komponen medan listrik pembentuk polarisasi pada konfigurasi antena-filter dengan (a) 2 substrat dan resonator <i>interdigital</i> , (b) substrat tunggal dan resonator <i>hairpin</i> .....	41
Gambar 3.5.	(a) Struktur radiator persegi yang dicatu dari arah negatif sumbu y dan (b) Arus permukaan pada radiator persegi dengan pencatu terkopel yang menunjukkan arah vertikal. ....	42
Gambar 3.6	(a) Struktur radiator menggunakan dua port dan dua lapis substrat untuk memperoleh kualitas radiasi ( $Q_{rad}$ ) dengan $L_p = 21$ mm dan (b) respon ekstraksi dalam parameter $S_{21}$ untuk beberapa kombinasi $L_p \times W_p$ pada resonansi 4,65 GHz.....	44
Gambar 3.7	(a) Hubungan $W_p$ pada radiator substrat tunggal dengan frekuensi kerja 2,58 GHz dengan $Q_{rad}$ dan (b) berbagai dimensi radiator persegi dengan frekuensi resonansi 2,58 GHz (satuan dalam unit mm) .....	45
Gambar 3.8	Struktur resonator <i>interdigital</i> dengan lengan rangkaian terbuka dan rangkaian hubungan singkat .....	46
Gambar 3.9	Ekstraksi resonator <i>interdigital</i> untuk memperoleh resonansi (a) berdasarkan variabel $L_R$ (b) variabel $P_K$ .....	47
Gambar 3.10	Struktur simulasi untuk memperoleh nilai $Q_{eksternal}$ antara pencatu dengan resonator pertama.....	48
Gambar 3.11	Struktur untuk proses ekstraksi jarak antara dua resonator untuk memperoleh nilai kopling. ....	48
Gambar 3.12	Resonator <i>hairpin</i> .....	49
Gambar 3.13	(a) Struktur untuk mengekstraksi $Q_{ext}$ antara resonator dan pencatu 50-ohm dan (b) respon pada parameter $S_{21}$ untuk menghitung $Q_{ext}$ .....	49
Gambar 3.14	Struktur untuk proses ekstraksi resonator <i>hairpin</i> menggunakan dua port dan arah arus permukaan yang mengalir secara horizontal sepanjang resonator. ....	50
Gambar 3.15	Struktur untuk mengekstraksi kopling antara 2 resonator <i>hairpin</i> dan (b) respon untuk memperoleh nilai $f_1$ dan $f_2$ .....	50
Gambar 3.16	Jarak antara resonator ( $Gap_1$ ) yang berbeda dengan resonansi 2,58 GHz	51
Gambar 3.17	Perbandingan panjang ( $L_p$ ) dan lebar ( $W_p$ ) radiator yang mewakili perbandingan besar $E\theta$ dan $E\Phi$ .....	52
Gambar 4.1	(a) Struktur geometris Antena I berdasarkan hasil ekstraksi antena-filter ordo 3 dari arah depan dan (b) irisan samping yang menunjukkan pencatuan dengan 2 resonator <i>interdigital</i> secara proximity kopling. [9] .....	56
Gambar 4.2	Ekstraksi resonator <i>interdigital</i> untuk resonansi pada frekuensi 4,65 GHz dengan variabel panjang (a) resonator $L_R$ dan (b) jarak antara via dengan tepi lengan resonator ( $P_K$ ) [9].....	57
Gambar 4.3	Relasi antara (a) $Q_{rad}$ dan lebar radiator $W_p$ dengan $L_p = 21$ mm. (b) $Q_{eks}$ dan jarak antara pencatu dan resonator ( $L_C$ ) (c) Kopling dan jarak antara resonator (d) dan (d) Kopling dengan jarak antara radiator dan resonator $C_b$ [9].....	58
Gambar 4.4	Respon $S_{11}$ Antena 1 berdasarkan hasil ekstraksi dan setelah dioptimasi [9] .....	58
Gambar 4.5	Medan listrik Antena I yang menunjukkan (a) arah arus vertikal dan (b) medan listrik vertikal yang mewakili polarisasi vertikal. [9] .....	59
Gambar 4.6	S-parameter dan perolehan Antena I [9].....	59
Gambar 4.7	(a) Struktur geometri Antena II (b) tampak samping dan (c) 3 dimensi [115] .....	60

Gambar 4.8 (a) Fabrikasi setelah penyatuan 2 lapis (b) radiator pada lapis pertama dan (c) pencatu pada lapis kedua fabrikasi. [115].....	61
Gambar 4.9 Saluran pencatu Antena II dengan lubang via di (a) sebelah kanan lengan resonator (Antena II-a) dan (b) sebelah kiri resonator (Antena II-b). [115].	61
Gambar 4.10 Arus permukaan (atas) dan arah polarisasi yang diwakili oleh medan listrik antena (bawah) (a) konvensional dengan pencatu terkopel (b) Antena II-a (c) Antena II-b [115] .....	62
Gambar 4.11 Perbandingan parameter $S_{11}$ [115].....	63
Gambar 4.12 Perolehan Antena II dengan antena konvensional.....	64
Gambar 4.13 Perubahan lebar pita pada Antena II dengan memvariasikan $C_b$ (satuan dalam mm) [115] .....	64
Gambar 4.14 (a) $P_{12}$ pada berbagai macam polarisasi yang berbeda (b) perolehan dan $S_{11}$ Antena II hasil simulasi dan pengukuran [115].....	65
Gambar 4.15 Pola radiasi Antena II pada frekuensi 4,65 GHz untuk (a) $\Phi = 0^\circ$ dan (b) $\Phi = 90^\circ$ [115] .....	66
Gambar 4.16 Struktur geometri antena-filter dengan polarisasi $45^\circ$ menggunakan 2 resonator interdigital dengan lubang via dilihat dari (a) depan (b) samping (c) perspektif [9].....	68
Gambar 4.17 (a) fabrikasi Antena III -a dan III-b (b) rangkaian pencatu pada Antena III-a dan (c) rangkaian pencatu pada Antena III-b [9].....	68
Gambar 4.18 Rangkaian ekuivalen antena-filter dengan polarisasi $45^\circ$ .....	69
Gambar 4.19 Arus permukaan Antena III polarisasi (a) $45^\circ$ (b) $-45^\circ$ dan medan listrik Antena III (a) $45^\circ$ (b) $-45^\circ$ [9].....	71
Gambar 4.20 Parameter polarisasi dilihat dari $E_\theta/E_\phi$ dan $\angle E_\theta - \angle E_\phi$ (a) Antena III-a dan (b) Antena III-b [9].....	72
Gambar 4.21 (a) Respon $S_{11}$ dan perolehan terhadap frekuensi antena dengan polarisasi $45^\circ$ (b) perbandingan S-parameter dan perolehan Antena I dan Antena III [9] .....	73
Gambar 4.22 Pengaruh (a) variable d terhadap lebar pita (b) $L_c$ terhadap selektifitas pita bawah (c) $C_b$ terhadap selektifitas pita atas dan (d) efisiensi total dan radiasi Antena III [9].....	74
Gambar 4.23 Perubahan jarak antara resonator ke 2 dengan radiator terhadap parameter polarisasi $E_\theta/E_\phi$ dan $\angle E_\theta - \angle E_\phi$ .....	75
Gambar 4.24 Perubahan jarak antara resonator ( $d$ ) terhadap terhadap parameter polarisasi $E_\theta/E_\phi$ dan $\angle E_\theta - \angle E_\phi$ (unit satuan dalam mm).....	75
Gambar 4.25 Pengaruh jarak antara pencatu kopel dengan resonator pertama ( $L_c$ ) terhadap terhadap parameter polarisasi $E_\theta/E_\phi$ dan $\angle E_\theta - \angle E_\phi$ .....	76
Gambar 4.26 Perbandingan perolehan antena konvensional dengan antena-filter.....	76
Gambar 4.27 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran Antena III-a dan Antena III-b untuk parameter $S_{11}$ dan perolehan [9] .....	77
Gambar 4.28 $S_{12}$ Antena II-a dan Antena III-b untuk tiap arah polarisasi [9].....	78
Gambar 4.29 E-plane dan H-plane Antena III-a pada frekuensi 4,65 GHz [9].....	78
Gambar 4.30 E-plane dan H-plane Antena III-b pada frekuensi 4,65 GHz [9].....	79
Gambar 4.31 Perbandingan parameter perolehan antena konvensional dengan antena-filter yang diajukan.....	80

Gambar 5.1 Tahap perancangan model antena-filter polarisasi melingkar tangan kiri menggunakan resonator <i>interdigital</i> dan <i>hairpin</i> mengadaptasi integrasi antena-filter ordo dua.....	86
Gambar 5.2 Medan listrik yang lebih kuat ( $E_{\theta 2}$ ) dihasilkan pada radiator yang memiliki jarak lebih dekat ( $Gap_2$ ) dengan resonator yang memiliki arus horizontal dibandingkan dengan medan listrik ( $E_{\theta 1}$ ) pada radiator yang memiliki jarak yang lebih jauh ( $Gap_1$ ).....	87
Gambar 5.3 Ilustrasi parameter yang diperlukan dalam menghasilkan perbedaan fasa $90^\circ$ pada resonator <i>hairpin</i> dan radiator persegi .....	89
Gambar 5.4 Antena IV (a) struktur geometri, (b) tampak samping (c) perspektif .....	90
Gambar 5.5 (a) Fabrikasi tampak depan (b) radiator (c) saluran transmisi .....	91
Gambar 5.6 Struktur rangkaian RLC ekivalen antena-filter.....	91
Gambar 5.7 Perbandingan $L_p$ dan $W_p$ serta jarak antara resonator dengan radiator pada (a) Antena I dengan polarisasi linier (b) Antena III dengan polarisasi $45^\circ$ dan (c) Antena IV dengan polarisasi melingkar .....	92
Gambar 5.8 Studi parameter (a) jarak antara pencatu dengan resonator ( $L_c$ ) (b) jarak antara radiator dengan resonator ( $C_b$ ) (unit satuan dalam mm).....	93
Gambar 5.9 (a) Kurva lebar pita impedansi ( $S_{11}$ ) dan rasio aksial (RA) dan (b) kurva perolehan .....	94
Gambar 5.10 Perbandingan perolehan antena konvensional dengan antena-filter.....	95
Gambar 5.11 Perbandingan besarnya $E_\theta$ and $E_\phi$ Antena IV serta perbedaan fasanya ...	96
Gambar 5.12 Dua struktur resonator individual yang beresonansi pada frekuensi 4,65 GHz berupa (a) resonator <i>interdigital</i> dengan arus horizontal dari lengan kiri ke lengan kanan, (b) radiator persegi dengan arus vertikal yang diintegrasikan menjadi (c) antena filter dengan polarisasi melingkar tangan kiri .....	97
Gambar 5.13 Pola radiasi Antena IV pada frekuensi 4,65 GHz dengan $\Phi = 0^\circ$ dan $\Phi = 90^\circ$ .....	98
Gambar 5.14 Perbandingan parameter $S_{11}$ hasil simulasi dengan hasil pengukuran Ant. IV .....	98
Gambar 5.15 Rasio aksial simulasi dan pengukuran.....	99
Gambar 5.16 Perolehan simulasi dan pengukuran .....	99
Gambar 5.17 Pola radiasi Antena IV pada frekuensi 4,65 GHz.....	100
Gambar 5.18 Antena V (a) struktur geometri (b) tampak samping.....	101
Gambar 5.19 Fabrikasi Antena V .....	102
Gambar 5.20 Struktur dan rangkaian RLC ekivalen Antena V .....	102
Gambar 5.21 Pengujian struktur untuk memperoleh resonansi 2,58 GHz pada (a) resonator <i>hairpin</i> dan (b) radiator persegi (unit satuan dalam mm) .....	103
Gambar 5.22 Respon $S_{11}$ dan rasio aksial terhadap perubahan $Gap_1$ (unit satuan dalam mm).....	104
Gambar 5.23 Respon $S_{11}$ dan rasio aksial terhadap perubahan $J_3$ . (unit satuan dalam mm) .....	104
Gambar 5.24 Hasil simulasi respon $S_{11}$ dan perolehan pada rentang frekuensi pengamatan .....	105
Gambar 5.25 Respon lebar pita rasio aksial simulasi dan pengukuran. ....	106
Gambar 5.26 Perbandingan besarnya $E_\theta$ and $E_\phi$ Antena V serta perbedaan fasanya ..	107
Gambar 5.27 Arus permukaan (a) resonator <i>hairpin</i> dengan arah horizontal (b) radiator persegi dengan arah vertikal dan (c) antena-filter menggunakan <i>hairpin</i> dan radiator persegi dengan arah melingkar tangan kiri .....	108

Gambar 5.28 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran Antena V untuk parameter $S_{11}$ dan perolehan.....	109
Gambar 5.29 Pola radiasi normalisasi pada frekuensi 2,58 GHz .....	110
Gambar B.1 Pengukuran Polarisasi $45^\circ$ pada antena filter interdigital ordo tiga.....	133
Gambar B.2 Pengukuran antena-filter polarisasi melingkar dengan resonator interdigital di Laboratorium Pusat Teknologi Satelit LAPAN.....	134
Gambar B.3 Pengukuran antena-filter polarisasi melingkar dengan resonator hairpin di Laboratorium Pusat Teknologi Satelit LAPAN dengan jarak pengirim dan penerima 20 m .....	135
Gambar B.4 Pengaturan pengukuran rasio aksial.....	135
Gambar B.5 Penyusunan pengukuran polaradiasi pada $\phi = 0^\circ$ .....	137
Gambar B.6 Penyusunan pengukuran pola radiasi pada $\phi = 90^\circ$ dan (b) respon $S_{12}$ pada $\phi = 90^\circ$ dan $\theta = 0^\circ$ .....	138
Gambar B.7 Kurva $S_{12}$ dari Aut yang diterima antena referensi linier, sesama Aut LHCP dan perolehan antena referensi. ....	139
Gambar B.8 $S_{12}$ dari Aut yang diterima antena referensi linier dengan berbagai posisi $\phi^\circ$ .....	139
Gambar D.1 Rangkaian ekivalen Antena II dan Antena IV .....	143
Gambar D.2 Rangkaian Ekivalen Antena I dan Antena III.....	144
Gambar D.3 Rangkaian ekivalen Antena V .....	145



## DAFTAR SINGKATAN

BTS	: <i>Base Transceiver Station</i>
FBW	: <i>Fractional Bandwidth</i>
LHCP	: <i>Right Hand Circular Polarization</i>
PLE	: Polarisasi Linier 45°
PM	: Polarisasi Melingkar
PMTKi	: Polarisasi Melingkar Tangan Kiri
PMTKa	: Polarisasi Melingkar Tangan Kanan
RA	: Rasio aksial
RHCP	: <i>Left Hand Circular Polarization</i>
RL	: <i>Return Loss</i>





## DAFTAR ISTILAH

Frekuensi pemutusan	: <i>cut-off frequency</i>
Ko-polarisasi	: <i>co-polarization</i>
Lebar pita	: <i>bandwidth</i>
Kopling timbal balik	: <i>mutual coupling</i>
Penahanan	: <i>blocking</i>
Perbedaan fasa	: <i>delay</i>
Perbedaan polarisasi silang	: <i>cross-polarization discriminant</i>
Polarisasi silang	: <i>cross-polarization</i>
Perolehan	: <i>gain</i>
Pola radiasi	: <i>radiation pattern</i>
Polarisasi melingkar tangan kanan	: <i>right-hand circular polarization</i>
Polarisasi melingkar tangan kiri	: <i>left-hand circular polarization</i>
Rasio aksial	: <i>axial ratio</i>



## BAB.1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada daerah perkotaan yang padat gelombang elektromagnetik yang berpropagasi mengalami pantulan, difraksi dan hamburan sehingga gelombang yang merambat melalui berbagai macam jalur (*multipath*), bisa mengalami perubahan polarisasi. Gelombang dengan polarisasi yang telah berubah tidak dapat diterima dengan baik oleh penerima karena berbeda dengan polarisasi pada antenna penerima dan menghasilkan rugi-rugi polarisasi. Efek dari jalur banyak adalah ketidakcocokan polarisasi (*mismatch polarization*) [1]–[3] dan ini dapat di atasi salah satunya dengan mendesain sebuah antenna yang memiliki polarisasi linier  $\pm 45^\circ$  [4]–[9] atau melingkar [10]–[17].

Antena dengan polarisasi linier  $\pm 45^\circ$  (PLE) memiliki kelebihan dibandingkan dengan antena linier vertikal maupun horizontal karena antena dengan polarisasi ini memiliki tingkat keragaman keterarahan perolehan (*gain diversity*) akibat karakteristik propagasi yang simetris [18], kapasitas kanal yang lebih tinggi dan *bit error rate* yang lebih rendah [8], [19]–[21]. Polarisasi  $45^\circ$  juga memiliki pengambilan informasi yang lebih baik untuk target tertentu seperti tumbuhan pada permukaan bumi dan tetes hujan dibanding yang bisa dilakukan dengan antena vertikal atau horisontal [7]. Hal lain yang menjadi kelebihan jenis polarisasi ini adalah memiliki kemampuan anti interferensi, sehingga digunakan pada berbagai aplikasi radar [7], [22] dan *Base Transceiver Station* (BTS) pada sistem komunikasi bergerak [6].

Polarisasi lain yang banyak dikembangkan untuk mengatasi jalur jamak adalah jenis polarisasi melingkar (PM) dimana medan listrik yang dipancarkan merambat secara melingkar membentuk lingkaran ataupun elips. Meskipun memiliki penerimaan maksimal lebih rendah 3 dB dibandingkan dengan polarisasi linier, polarisasi melingkar memiliki kelebihan dimana polarisasi ini dapat menerima semua jenis polarisasi linier dengan sama baiknya, sehingga sesuai untuk diterapkan pada aplikasi radar pendeteksi [23], komunikasi satelit [16] dan aplikasi biotelemetri [24] karena lebih tahan terhadap interferensi jalur jamak dan pergerakan tubuh manusia.

Berbagai macam teknik telah digunakan untuk menghasilkan PLE pada antena konvensional. Secara umum beberapa teknik yang digunakan antara lain adalah dengan

memutar sudut radiator sebesar  $45^\circ$  [25] ataupun membuat komponen radiator yang memiliki kemiringan  $45^\circ$  [5], [6], [10], [26], [27], menggunakan antenna dipol silang [28] dan menambahkan komponen tambahan berupa lapisan pengubah polarisasi (*polarizer*) [22], [27], [29]. Demikian pula halnya untuk antenna dengan PM, beberapa teknik telah digunakan seperti metode pemotongan tepi radiator secara diagonal [30]–[32], membuat gangguan pada radiator seperti penambahan celah garis pada radiator [33], celah berbentuk  $X$  pada radiator [34]. Teknik lain yang banyak digunakan adalah teknik pencatu ortogonal dengan perbedaan fasa  $\pm 90^\circ$  [13], [35]–[38], pembentukan medan listrik ortogonal pada *ground* antenna dipol [39], [40], metode bukaan ortogonal [41], serta penggunaan *stub* dan dielektrik berisi cairan [42], [43]. Metode lain juga dilakukan dengan menggunakan komponen tambahan sebagai pengubah polarisasi (*polarizer*) [44]–[47].

Pada prinsipnya polarisasi merupakan cara perambatan medan listrik yang meradiasi, yang secara teori terdiri dari dua komponen medan listrik maya pada arah vertikal dan horisontal. Komponen medan listrik vertikal akan menghasilkan polarisasi vertikal, hal yang sama juga berlaku pada polarisasi horisontal. Akan tetapi jika medan listrik terdiri dari komponen vertikal dan horisontal atau membentuk komponen ortogonal, maka polarisasi yang dihasilkan dapat berupa linier miring ataupun elips dan lingkaran. Berdasarkan teori tersebut maka polarisasi dapat dibangkitkan oleh komponen vertikal dan horisontal yang secara fisik, struktur tersebut dapat dimodelkan. Metode medan listrik ortogonal ini telah banyak diterapkan pada antenna dengan polarisasi melingkar menggunakan dua catu yang saling ortogonal, akan tetapi teknik ini menjadi lebih rumit karena kebutuhan pencatuan yang lebih banyak dan membutuhkan metode khusus untuk membuat perbedaan fasa di antara keduanya [13], [36]–[38], [48], [49]. Melihat kekurangan metode tersebut maka disertasi ini mengajukan untuk memecah catu ortogonal tersebut menjadi dua komponen resonan yang terpisah secara fisik dan memiliki arah arus yang saling ortogonal, kemudian komponen tersebut dapat disatukan kembali dengan menggunakan satu pencatu dan satu terminal. Penyatuan kembali dua komponen tersebut harus menggunakan metode integrasi yang sesuai antar keduanya, dan penulis mengusulkan untuk menggunakan metode antenna-filter yang telah dikenal dalam mengintegrasikan radiator dan resonator untuk menghasilkan antenna dengan kemampuan selektifitas sebagaimana sebuah filter serta membangkitkan polarisasi linier dan

melingkar. Beberapa polarisasi linier seperti vertikal dan  $75^\circ$  dihasilkan untuk memvalidasi bahwa metode ini tidak hanya berlaku terbatas untuk polarisasi linier  $45^\circ$  dan melingkar saja.

Antena filter merupakan sebuah metode integrasi yang menambahkan kemampuan sebuah antena dengan parameter selektifitas[50]–[59]. Metode ini sebelumnya hanya berfokus dalam penambahan fungsi selektifitas antena, serta parameter tambahan lain yang ingin diperbaiki[13], [25], [36], [37], [58], [60]. Namun penelitian berkaitan dengan integrasi antena-filter belum pernah menerapkan proses integrasinya untuk membangkitkan polarisasi, karena selama ini polarisasi yang dicapai pada antena-filter hanya mengacu pada metode-metode yang juga telah banyak digunakan pada antena konvensional [13], [25], [36], [37], [60]. Antena-filter memiliki kelebihan dibandingkan antena konvensional dimana selektifitas yang ditunjukkan dengan parameter perolehannya lebih tajam seperti respon sebuah filter, sehingga antena ini menahan perolehan di luar lebar pita operasinya. Maka metode yang diusulkan penulis di atas memiliki keterbaharuan berupa proses integrasi antena-filter yang sekaligus digunakan untuk membangkitkan polarisasi linier vertikal,  $75^\circ$ ,  $45^\circ$  dan melingkar menggunakan resonator dan radiator yang arah medan listriknya saling ortogonal menggunakan satu pencatu dan satu terminal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan konsep umum polarisasi yang dijelaskan pada bagian Latar Belakang, medan listrik yang ortogonal dapat dikendalikan besar dan fasanya untuk membangkitkan berbagai macam polarisasi. Maka inti dari pembangkitan polarisasi adalah bagaimana merealisasikan medan ortogonal ini, sehingga dapat menghasilkan berbagai macam polarisasi, baik linier maupun melingkar karena selama ini medan listrik ortogonal hanya banyak digunakan untuk membentuk polarisasi melingkar saja, hanya sedikit metode ini digunakan untuk membentuk polarisasi linier [10], [61].

Resonator *interdigital* [62] dan *hairpin* [54] yang telah banyak digunakan untuk rangkaian filter, memiliki kesamaan dalam hal aliran arus yang membentuk arah horisontal jika dibandingkan dengan radiator persegi yang dicatu dari arah vertikal (dalam hal ini arah arus juga menunjukkan arah pergerakan medan listrik pada struktur tersebut). Radiator persegi pada terminologi ini dapat kita sebut sebagai resonator karena radiator

juga memiliki resonansi di frekuensi tertentu. Dari karakteristik ketiga struktur tersebut (resonator *interdigital*, *hairpin* dan radiator persegi) jika diintegrasikan akan membentuk medan listrik ortogonal yang merupakan model medan ortogonal dari teori polarisasi.

Selanjutnya muncul pertanyaan bagaimana mengintegrasikan dua resonator yang berbeda, sehingga dapat menghasilkan sebuah struktur yang terintegrasi. Maka teknik yang dapat digunakan yaitu integrasi antena (yang dapat juga dikategorikan sebagai sebuah resonator sehingga dapat mewakili resonator pertama) dan filter sebagai rangkaian resonator kedua, yang dikenal dengan integrasi antena-filter. Dari sini maka tantangan untuk melakukan integrasi antena dengan filter yang sekaligus berfungsi sebagai pembangkit polarisasi tertentu, menjadi sebuah keterbaruan, karena selama ini kedua metode ini adalah metode yang tidak saling berkaitan. Maka terealisasinya metode ini, menjadikan dua metode diringkas menjadi satu metode yang memiliki fungsi ganda dan memberi manfaat bagi teknik pembangkitan polarisasi antena konvensional dengan sekaligus memunculkan kemampuan selektifitasnya, sedangkan dari sisi antena-filter hal ini menghasilkan fitur tambahan yaitu kemampuan untuk membangkitkan polarisasi tertentu.

Integrasi dua komponen resonator ortogonal tersebut merupakan pemodelan dari teori vektor medan listrik pembangkit polarisasi, maka antena-filter sebagai sebuah proses integrasi dua resonator menjadi pilihan untuk memodelkan teori tersebut. Berikut merupakan hal-hal yang menjadi permasalahan untuk menjawab hipotesis tersebut:

1. Apakah polarisasi dapat dibangkitkan melalui dua resonator yang ortogonal?
2. Bagaimana mengintegrasikan dua resonator yang ortogonal menggunakan metode antena-filter untuk memperoleh polarisasi linier dan melingkar?
3. Parameter apa yang berpengaruh terhadap pembangkitan polarisasi yang mengintegrasikan dua resonator yang ortogonal?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan Umum:

Memperoleh sebuah metode baru untuk membangkitkan polarisasi menggunakan resonator ortogonal dengan mengadaptasi integrasi antena dan filter.

Tujuan Khusus:

1. Menghasilkan antena-filter dengan polarisasi linier vertikal,  $75^\circ$  dan  $45^\circ$ ,

2. Menghasilkan antena-filter dengan polarisasi melingkar.

#### 1.4 Batasan Masalah

Disertasi ini mengajukan metode pembangkitan polarisasi secara umum dengan menggunakan resonator ortogonal yang mengadaptasi integrasi antena-filter dan untuk membuktikan metode tersebut, maka dibutuhkan realisasi struktur pada desain antena yang selanjutnya divalidasi dengan pengukuran. Frekuensi kerja antena-filter yang digunakan beroperasi pada 4,65 GHz dalam rentang lebar pita 300 MHz untuk aplikasi 5G pada pita tengah, frekuensi ini dipilih untuk menghindari dimensi antena yang terlalu besar karena metode yang digunakan menggunakan *proximity coupling* dengan dua lapis substrat sehingga penggunaan bahan yang banyak dapat diminimalisasi. Frekuensi 2,58 GHz dengan lebar pita operasi 150 MHz untuk aplikasi satelit, digunakan untuk mengakomodasi penerapan metode baru ini pada frekuensi yang berbeda yang hanya menggunakan substrat tunggal. Resonator *interdigital* dan *hairpin* digunakan karena sebagaimana dijelaskan pada sub-bab 1.1. Rumusan Masalah, kedua resonator ini sama-sama memiliki arus horisontal yang dapat mewakili realisasi struktur yang ortogonal jika diintegrasikan dengan radiator persegi yang memiliki arus vertikal. Untuk menghasilkan desain antena linier 45° dan melingkar, beberapa tahapan desain dilakukan dan beberapa di antaranya menghasilkan antena-filter dengan polarisasi vertikal dan 75° yang prosesnya dijelaskan pada Bab IV. Jenis radiator yang digunakan dipilih berbentuk persegi karena bentuk ini dapat di atur panjang serta lebarnya dengan tetap mempertahankan frekuensi operasinya.

Untuk menjaga fokus penelitian terhadap tujuan yang ingin dicapai serta mempertimbangkan keterbatasan waktu, maka disertasi ini dibatasi oleh beberapa hal, yaitu:

1. Antena dengan polarisasi linier beroperasi pada frekuensi 4.65 GHz menggunakan resonator *interdigital* mengadaptasi antena-filter ordo dua dan tiga,
2. Antena dengan polarisasi melingkar tangan kiri (PMTKi) beroperasi pada frekuensi 4,65 GHz, diintegrasikan dengan sebuah resonator *interdigital* mengadaptasi antena-filter ordo dua,



3. Antena persegi beroperasi pada frekuensi 2,58 GHz, diintegrasikan dengan sebuah resonator *hairpin* mengadaptasi antena-filter ordo dua untuk menghasilkan antena-filter polarisasi melingkar tangan kiri (PMTKi),
4. Antena-filter *interdigital* dengan polarisasi vertikal dirancang tanpa melakukan fabrikasi dan pengukuran,
5. Radiator yang digunakan untuk semua polarisasi berbentuk persegi panjang dengan resonansi setengah panjang gelombang, karena jenis radiator ini memiliki komponen panjang dan lebar yang dapat disesuaikan untuk mengatur besar  $E_\theta$  dan  $E_\phi$ ,
6. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantisasi tanpa menjelaskan analisis teoritis.
7. Semua desain disimulasikan menggunakan software CST® dan difabrikasi menggunakan substrat Roger Duroid 5880 dengan ketebalan 1,57 mm, rugi-rugi 0,0009 dan konstanta dielektrik 2,2.

### 1.5 Keterbaharuan

Penelitian ini memiliki keterbaharuan berupa:

1. Sebuah metode baru untuk membangkitkan polarisasi dengan mengadaptasi integrasi antena dan filter, sehingga metode dasar ini bisa diterapkan secara umum untuk menghasilkan polarisasi linier dan melingkar pada radiator dan resonator yang memiliki medan listrik dengan posisi ortogonal.
2. Desain antena-filter baru menggunakan radiator persegi dan dua resonator *interdigital* untuk membangkitkan polarisasi linier vertikal,
3. Desain antena-filter baru menggunakan radiator persegi dan sebuah resonator *interdigital* untuk membangkitkan polarisasi linier  $75^\circ$ ,
4. Desain antena-filter baru menggunakan radiator persegi dan dua buah resonator *interdigital* untuk membangkitkan polarisasi linier  $45^\circ$ ,
5. Desain antena-filter baru menggunakan radiator persegi dan sebuah resonator *interdigital* untuk membangkitkan polarisasi melingkar tangan kiri,
6. Desain antena filter baru menggunakan radiator persegi dan sebuah resonator *hairpin* untuk membangkitkan polarisasi melingkar tangan kiri.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Teknik integrasi antena-filter yang selama ini digunakan untuk menambahkan kemampuan antena dengan fitur selektifitas, dapat diperluas lagi menjadi teknik pembangkit polarisasi sehingga seluruh desain yang menggunakan metode ini akan sekaligus memiliki dua manfaat yaitu fitur selektifitas dan fungsi pembangkit polarisasi. Penerapan teknik ini selanjutnya dapat dikembangkan lebih jauh sehingga manfaatnya dapat dijadikan sebagai salah satu solusi untuk merealisasikan perangkat yang memiliki multifungsi, terintegrasi dan mendukung keberagaman polarisasi.

Secara lebih khusus lagi berikut adalah manfaat dan keunggulan dari penggunaan metode ortogonal resonator.

Antena-filter dengan polarisasi linier memiliki keunggulan:

1. Menghasilkan parameter impedansi, perolehan, pola radiasi dan efisiensi yang identik pada antena dengan polarisasi  $\pm 75^\circ$  dan  $\pm 45^\circ$ ,
2. Penggunaan komponen resonator mengakibatkan lebar pita yang dapat dikontrol sesuai kebutuhan saat proses desain,
3. Respon perolehan antena yang mendatar pada pita kerjanya dan menurun secara tajam di luar pita kerjanya sehingga dapat menahan daya yang ada di luar frekuensi kerjanya,
4. Ketajaman respon perolehan antena pada frekuensi bawah dan atas dapat dikendalikan secara bebas tanpa saling mempengaruhi sehingga akan terjadi perbedaan besar antara perolehan dalam frekuensi kerja dengan perolehan di luar frekuensi kerja.
5. Polarisasi  $75^\circ$  dan  $45^\circ$  dapat dicapai tanpa merotasi secara fisik ataupun membuat struktur dengan kemiringan  $75^\circ$  atau  $45^\circ$  sehingga lebih mudah mendesainnya.

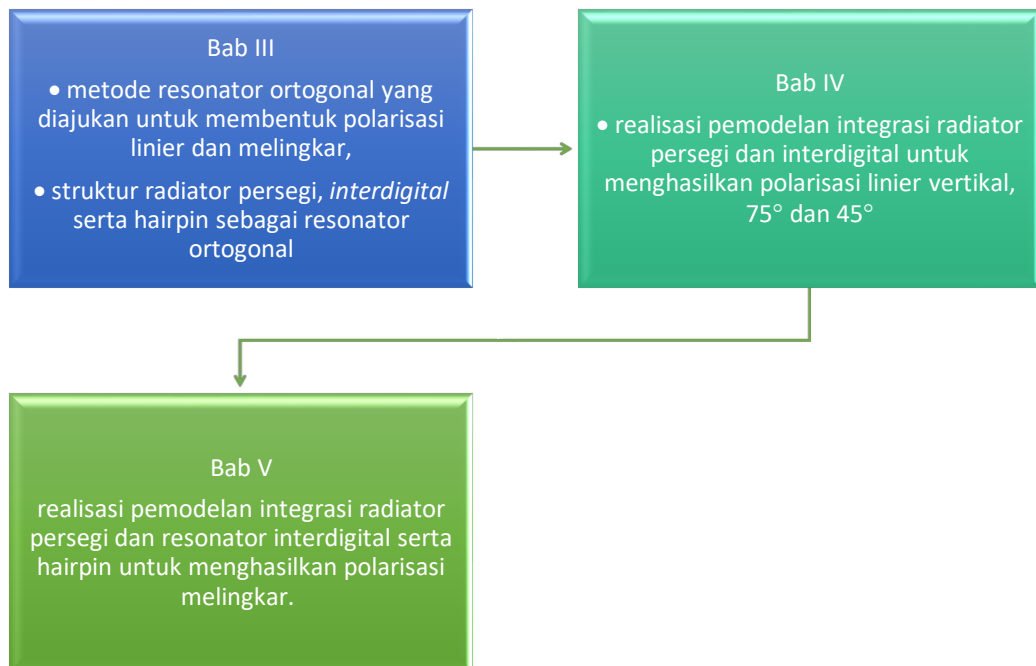
Antena dengan polarisasi melingkar memiliki keunggulan:

1. Penggunaan pencatu dan terminal tunggal yang lebih sederhana dalam proses perancangannya
2. Memiliki selektifitas yang lebih baik dibandingkan dengan antena polarisasi melingkar yang tidak menggunakan integrasi antena-filter.
3. Memiliki kemampuan mengontrol *lebar pita* impedansi dan rasio aksial.

Melihat keunggulan antenna yang dihasilkan menggunakan metode resonator ortogonal maka teknik ini sangat berpotensi untuk dapat digunakan merancang antenna-filter dengan keberagaman polarisasi yang merupakan salah satu solusi dalam meningkatkan kapasitas sistem komunikasi nirkabel. Teknik ini juga mendukung perangkat yang terintegrasi dan memiliki multifungsi.

### 1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan disertasi ini terdiri dari enam bagian yang terdiri dari BAB I sampai dengan BAB VI. Bagian pendahuluan yang terdapat pada BAB I berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah serta tujuan dari disertasi ini. Sedangkan pada bagian isi dapat dijelaskan secara ringkas seperti berikut:



Gambar 1.1 Skema keterkaitan antara Bab III sampai dengan Bab V

Dan terakhir sebagai penutup Bab VI berisi kesimpulan dan rencana penelitian selanjutnya.