

4.1.4. Gain.....	IV-78
4.2. Simulasi Rancangan Akhir Antena Butterfly	
Mikrostrip Array.....	IV-78
4.2.1. Koefisien Refleksi (S_{11}) untuk array antena.....	IV-79
4.2.2. Voltage Standing Wave Ratio.(VSWR).....	IV-80
4.2.3. Pola Radiasi Dimensi	IV-80
4.2.4. Gain.....	IV-82
4.3. Hasil Pengukuran Prototipe Antena Butterfly	
Mikrostrip.....	IV-82
4.3.1. Pengukuran Prototipe Butterfly Mikrostrip Single Antena...	IV-84
4.3.2. Pengukuran Prototipe Butterfly Mikrostrip Array Antena....	IV-86
4.4. Pengujian dan Analisis.....	IV-88
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	V-97
5.2. Saran	V-99
DAFTAR PUSTAKA	xx

DAFTAR GAMBAR	xv
	Halaman
Gambar 1.1: Menara Wardencllyffe	I-3
Gambar 1.2: Konsep Pengembangan WPT.....	I-5
Gambar 1.3: Proses Perancangan dan Pembuatan Anena	I-9
Gambar 1.4: Blok diagram sistem transmisi daya nirkabel.....	I-12
Gambar 1.5 : Kerangka Pikir	I-14
Gambar 2.1: Trafo	II-16
Gambar 2.2: Sikat gigi listrik	II-16
Gambar 2.3: Skema Diagram Daya Listrik Tanpa Kabel	II-18
Gambar 2.4: Polar Plot dari pola radiasi	II-23
Gambar 2.5: Pola radiasi pada koordinator polar	II-24
Gambar 2.6: Radiasi antena pada bidang elevasi dan azimut.....	II-25
Gambar 2.7: Daerah bidang antena	II-26
Gambar 2.8: Perubahan tipe pola radiasi dari <i>reactive near field</i> sampai <i>far field</i>	II-27
Gambar 2.9: 3D dan 2D dari pancaran antena	II-28
Gambar 2.10: Polarisasi linier horizontal.....	II-33
Gambar 2.11: Polarisasi linier vertikal	II-33
Gambar 2.12: Left hand circular polarize	II-34
Gambar 2.13: Right hand circular polarize	II-34
Gambar 2.14: Polarisasi elliptical	II-34
Gambar 2.15: Struktur dasar antena Microstrip.....	II-38
Gambar 2.16 Beberapa model <i>patch</i> untuk Antena <i>Microstrip</i>	II-39

Gambar 2.17: Struktur Microstrip Line	II-45
Gambar 2.17: Struktur Microstrip tampak samping	II-45
Gambar 2.18: Struktur coaxial probe feeding.....	II-46
Gambar 2.19: Struktur proximity coupling feed	II-47
Gambar 2.20: Struktur aperture coupling feed.....	II-48
Gambar 2.21: A coaxial – feed RMSA	II-50
Gambar 2.22: Berbagai bentuk <i>gap-coupled multiresonator</i> RMSA	II-53
Gambar 2.23: Multilayer Broadband Microstrip Antennas.....	II-54
Gambar 2.24. <i>Plot</i> VSWR pada dua jenis <i>dual-band operation</i>	II-56
Gambar 2.25: Single Microstrip Line.....	II-58
Gambar 2.24: Blok diagram kerangka konseptual.....	II-61
Gambar 3.1: Framework perancangan komponen RF.....	III-63
Gambar 3.2: Desain awal Butterfly Antenna	III-66
Gambar 3.3: Desain Optimasi Butterfly antenna... ..	III-67
Gambar 3.4: Layout Butterfly Antenna dengan Corel Draw X4.....	III-68
Gambar 3.5: Struktur desain awal Antena Butterfly Microstrip Array..	III-68
Gambar 3.6.: Prototipe Butterfly Antenna:Edge Feeding	III-73
Gambar 4.1: Plot S11 Simulasi hasil akhir antena Microstrip Line.....	IV-71
Gambar 4.2: Plot VSWR Simulasi akhir Antena Microstrip Aray	IV-72
Gambar 4.3: Pola radiasi dua dimensi untuk Antena Microstrip Single.....	IV-73
Gambar 4. 4: Pola radiasi 3 dimensi untuk Antena Microstrip Array..	IV-73
Gambar 4.5: Plot Gain Simulasi akhir Antena Microstrip Array	IV-74

Gambar 4.6: Simulasi hasil akhir Antena Mikrostrip Array.....	IV-75
Gambar 4.7: Plot VSWR simulasi akhir Antena Microstrip Array.....	IV-76
Gambar 4.8: Pola radiasi dua dimensi untuk Antena Mikrostrip Array.....	IV-77
Gambar 4.9: Pola radiasi tiga dimensi untuk Antena Microstrip Array.....	IV-77
Gambar 4.10:Plot Gain Simulasi Akhir Antena Mikrostrip Array.....	IV-78
Gambar 4.11: Virtual Network Analyzer 5017C.....	IV-79
Gambar 4.12 Set Antena Trainer ED 3200	IV-80
Gambar 4.13: Koefisien Refleksi S11 untuk single antena	IV-80
Gambar 4.14. Hasil pengukuran VSWR Butterfly Single Antena.....	IV-81
Gambar 4.15. Pola radiasi Butterfly Antena	IV-82
Gambar 4.16. Koefisien Refleksi S11 Butterfly Antena.....	IV-82
Gambar 4.17. Hasil pengukuran VSWR Butterfly Antena.....	IV-83
Gambar 4.18. Pola radiasi Butterfly Antena	IV-84
Gambar 4.19. Amplitudo terhadap tegangan	IV-89
Gambar 4.20. Amplitudo terhadap jarak	IV-90
Gambar 4.21.Pengukuran jarak terhadap tegangan	IV-91
Gambar 4.22.Jarak terhadap Amplitudo (Tx array)	IV-93
Gambar 4.23. Jarak terhadap tegangan	IV-94

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1: Daftar permitivitas relatif dan berbagai material.....	II-40
Tabel 2.2: Parameter umum FR4	II-41
Tabel 3.1: Dimensi awal Butterfly Antenna 2,5 GHz.....	III-66
Tabel 3.2: Dimensi Butterfly Antena 2,5 GHz	III-67
Tabel 3.3: Dimensi akhir antena Microstrip Array.....	III-70
Tabel 4.1. Pengukuran langsung generator ke rangkaian.....	III-88
Tabel 4.2. Amplitudo terhadap jarak.....	III-90
Tabel 4.3. Pengukuran jarak terhadap tegangan.....	III-91
Tabel 4.4. Jarak terhadap Amplitudo.....	III-92
Tabel 4.5. Jarak terhadap tegangan	III-93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Pengukuran S_{11} Antena

Lampiran B : Pengukuran SWR Antena

Lampiran C: Percobaan Antena terhubung langsung dengan vektor signal generator.

Lampiran D : Percobaan dengan menggunakan antena array

Lampiran E : Percobaan dengan menggunakan antena single

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan teknologi tanpa kabel atau *wireless* dewasa ini semakin meningkat pesat. Peningkatan ini dilandasi dengan berbagai hal, seperti semakin meningkatnya teknologi pada perangkat elektronik, kebutuhan telekomunikasi, sampai pada gaya hidup dari umat manusia. Kebutuhan akan pengiriman daya listrik tanpa kabel ini berawal dari ketergantungan umat manusia terhadap pemakaian kabel untuk mengisi ulang baterai yang dipakai pada perangkat elektronik.

Dalam kehidupan sehari-hari sekarang ini umat manusia tidak bisa lepas dari kebutuhan mereka akan peralatan listrik tersebut, mulai dari telepon genggam untuk berkomunikasi, laptop untuk mengerjakan tugas dan terhubung dengan internet, sampai kepada pemutar mp3 untuk mendengarkan lagu, yang semua peralatan elektronik tersebut menggunakan baterai yang dapat diisi ulang sebagai sumber utamanya. Oleh karena ketergantungan manusia terhadap baterai, sering terdapat adaptor atau *charger* baterai yang terus menerus terpasang pada sumber listrik utama untuk memudahkan dalam proses pengisian ulang baterai.

Jika dapat dilakukan proses transfer daya listrik tanpa melewati suatu kabel, tentunya hal ini akan sangat membantu di dalam pengisian baterai dan juga akan menjadi lebih efektif serta efisien jika dapat mengisi ulang lebih dari satu baterai dalam suatu waktu bersamaan tanpa harus menggunakan kabel lagi yang terpasang ke sumber listrik. Dengan adanya alat yang dapat mengirimkan daya listrik tanpa kabel ini, nantinya juga diharapkan dapat mengganti peran baterai selama ini, dan masih berada di dalam jangkauan atau area alat tersebut. Jika kondisi semacam ini dapat diperoleh dimasa depan hal ini akan berdampak lebih positif pada keberlanjutan kualitas lingkungan hidup.

Pada ilmuwan dan peneliti seperti Nikola Tesla dan Heinrich Hertz sebagai pelopor dalam dunia transmisi tanpa kabel sudah mengetahui bahwa sangat mungkin untuk dapat mengirimkan daya listrik tanpa melalui kabel. Nikola Tesla mengeksplorasi dan terus mempelajari suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel melalui penemuan-penemuan tentang gelombang radio, gelombang mikro (microwave) dan kumparan Tesla. Pada akhirnya Nikola Tesla membuat menara Wardenclyffe (Gambar 1.1) dengan tujuan sebagai suatu pembangkit yang dapat mentransmisikan daya listrik serta informasi keseluruh dunia.[6]



Gambar 1.1. Menara Wardencliff.[6]

Sebagai suatu contoh lain, prinsip induksi pada trafo, dapat mengirimkan daya listrik dari kumparan satu tanpa bersentuhan dengan kumparan yang lain, meskipun jaraknya masih sangat dekat. Selain trafo, prinsip radiasi elektromagnetik pada gelombang radio juga dapat mengirimkan energi listrik tanpa kabel, akan tetapi karena efisiensi yang kecil, gelombang radio ini hanya berperan penting untuk dunia telekomunikasi dalam mengirimkan informasi dan tidak dapat digunakan untuk mengirimkan daya listrik dalam jumlah besar (menggantikan peran kabel). Ilmuwan juga telah mencoba untuk memusatkan gelombang elektromagnetik seperti laser (tidak menyebar seperti halnya gelombang elektromagnetik pada gelombang radio), akan tetapi hal ini juga belum praktis dan bahkan dapat merusak dan membahayakan umat manusia.[6]

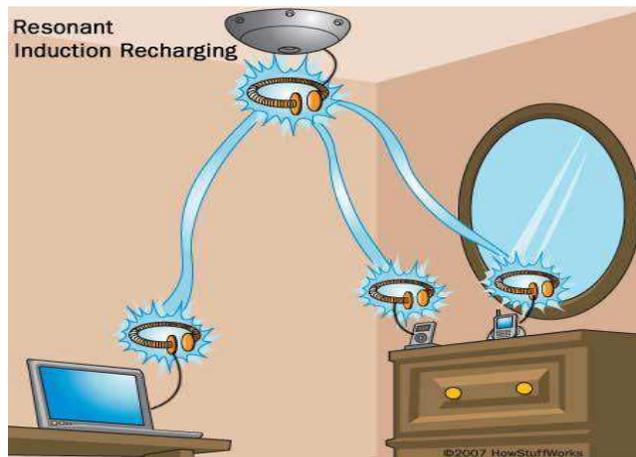
Penelitian tentang pengiriman daya tanpa kabel ini dilakukan di berbagai level daya. Dimulai daya level rendah, menengah hingga tinggi. Namun pengiriman pada level daya rendah menjadi yang paling populer

akibat makin banyaknya peralatan elektronik yang bersifat mobile, dan banyak peralatan elektronik yang makin praktis apabila dapat dioperasikan secara nirkabel meskipun peralatan tersebut bukan tipe yang mobile. Dan kami yakin, hasil dari penelitian tentang pengiriman daya listrik tanpa kabel ini akan menjadi vital dimasa mendatang.

Diharapkan dengan adanya sistem ini, ketidakefisienan kabel dapat dihilangkan. Sehingga dapat dibentuk suatu kondisi dimana terdapat beberapa peralatan terhubung secara nirkabel dimana salah satu alat tersebut bertindak sebagai sumber energi listrik berbagai peralatan yang lainnya. Sebagai implementasi, dapat dibuat sebuah pemancar energi listrik yang digunakan sebagai sumber daya atau pengisi baterai dari berbagai alat-alat baik berupa peralatan elektronik baik statis maupun portable yang ada di dalam jangkauannya. Sebagai aplikasi nyata, dimasa mendatang dapat kita buat suatu sistem dimana di dalam rumah terdapat 1 pemancar energi listrik yang dapat menyuplai daya pada berbagai peralatan yang ada di dalam rumah. Atau untuk aplikasi yang lebih luas, kita dapat membangun beberapa pemancar pada daerah perkotaan yang dimanfaatkan sebagai sarana pengisian daya bagi kendaraan yang menggunakan teknologi hibrid maupun kendaraan listrik yang berada di sekitarnya.

Oleh karena kebutuhan akan kemajuan teknologi inilah, maka penemuan Nikola Tesla yang dapat mentransmisi energi tanpa melalui kabel pada akhir abad 18 itu menjadi kajian yang sangat menarik untuk

diteliti dan dimengerti kembali. Selain itu, dengan meningkatnya harga dari penghantar listrik sementara kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat tiap tahunnya. Maka adanya sistem penghantaran listrik tanpa kabel pada peralatan yang digunakan sehari-hari seperti kabel charge untuk pengisian baterai pada telepon genggam, laptop dan perangkat lainnya (Gambar 1.2).[10]



Gambar 1.2 Konsep pengembangan WPT.[10]

1.2. Rumusan Masalah

Pembahasan yang penulis angkat sebagai objek penelitian pada Tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain atau merancang sebuah Rectena Antena yang lebih efisien dan optimum untuk sistem WPT.

2. Bagaimana model rancangan antena rectena yang baik dan metode-metode untuk mengimplementasikannya baik secara numerik dan secara praktis.
3. Bagaimana menguji dan menganalisis performansi dari rancangan antena yang cocok untuk keperluan *Wireless Power Transmission* (WPT).

1.3. Tujuan Penelitian

Penulisan tesis ini bertujuan untuk merancang suatu alat yang dapat mentransmisikan daya listrik tanpa kabel. Alat ini disebut Rectena Antena yang berfungsi sebagai pemancar (*Transmitter*) dan penerima (*Receiver*).

Secara lebih spesifik penelitian terkait WPT technology, bertujuan untuk :

1. Merancang sebuah antena rectena yang efisien.
2. Menganalisis performansi dari antena untuk *Wireless Power Transmission*.
3. Mencari metode-metode untuk mengimplementasikannya secara numerik dan praktis.

1.4. Batasan Masalah

Pada penulisan tesis ini hanya dibatasi pada perancangan dari receiver yang merupakan fungsi utama dari proses *Wireless Power Transmitter*, dimana receiver disini adalah antena yang disebut *rectena antenna* yang digunakan sehingga terciptanya proses penghantaran

tegangan rendah pada jarak kurang dari 1 meter sehingga dapat disebut sebagai *wireless power transmission*.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti yang tertera dibawah ini :

- Hasil penelitian ini lebih ditekankan pada proses perancangan dan pembuatan antena sehingga terciptanya proses penghantaran tegangan rendah sehingga dapat disebut sebagai *Wireless Power Transmission (WPT)*.
- Mengembangkan penelitian terkait dengan WPT.
- Diharapkan menjadi penuntun bagi para peneliti dibidang *Wireless Power Transmission* untuk mengembangkan inovasi dibidang teknologi tersebut.

1.6. Metodologi Penelitian

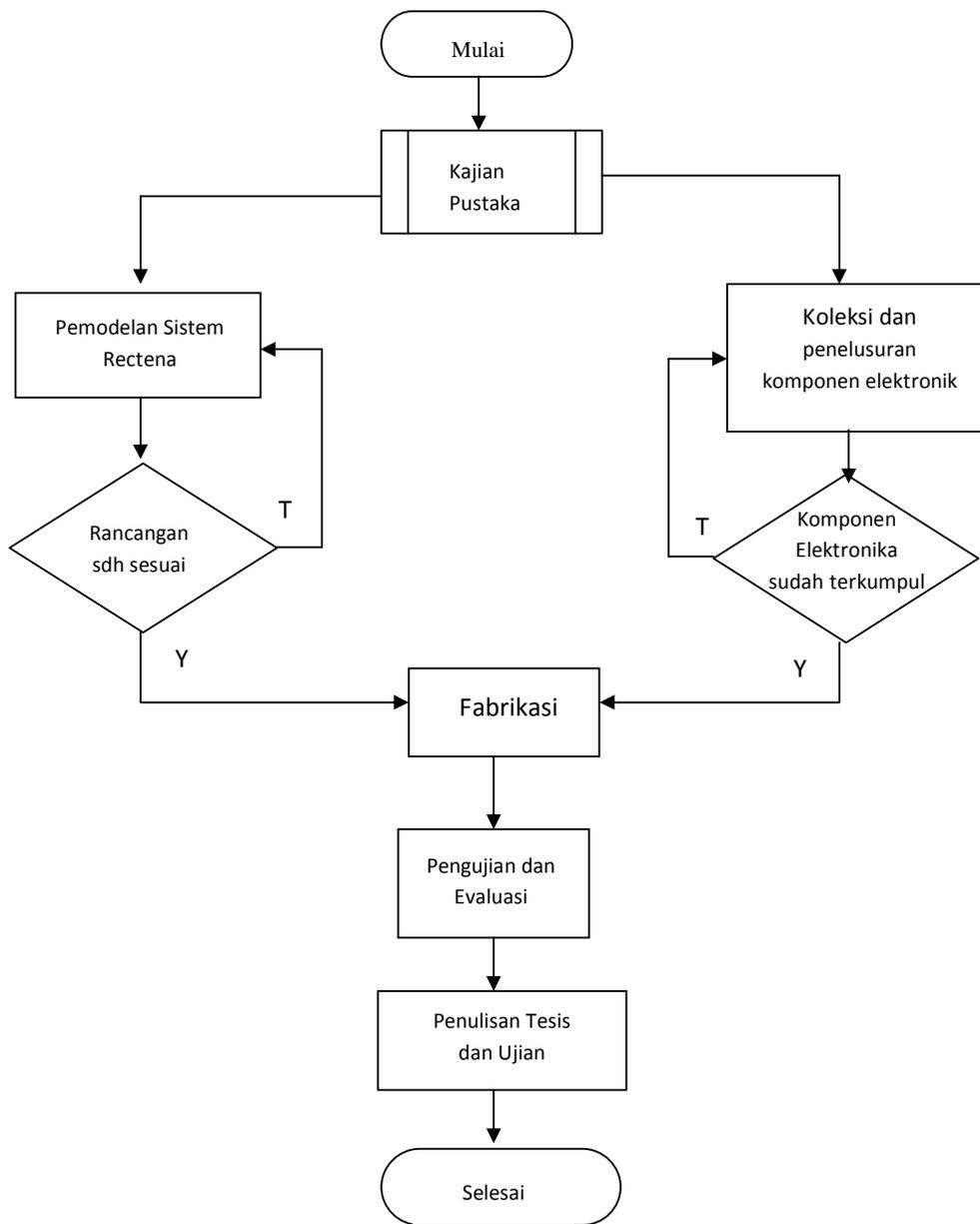
Tahapan-tahapan penelitian yang ditempuh dalam penelitian ini dimulai dengan studi pustaka menggunakan beberapa literatur, jurnal internasional yang relevan dengan permasalahan yang dikaji serta software yang digunakan. Berdasarkan dimensi yang telah ditentukan, dihitung dimensi *patch*. Langkah selanjutnya adalah perancangan dan simulasi dengan menggunakan *software Agilent Advanced Design System 2011.01* dan *Ansoft High Frequency Structural Simulator (HFSS) v13*. Hasil simulasi yang optimal selanjutnya dibuat dalam bentuk sebuah prototipe sebagai bahan analisa untuk perbandingan antara simulasi

dengan menggunakan *software* ADS 2011.01 dan HFSS v13 dengan hasil pengujian prototipe. Tahapan akhir yang dilakukan adalah membuat kesimpulan mengenai hasil yang dicapai pada penelitian.

1.6.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.

Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Persiapan Proposal	■																							
Seminar Proposal					■																			
Pengambilan Data									■															
Pengolahan Data													■											
Penyusunan Laporan													■											
Seminar Hasil																					■			
Perbaikan Laporan																							■	
Ujian																								■

Waktu penelitian ini selama kurang lebih 4 bulan dari Februari s.d Mei 2013. Lokasi penelitian berada di Lab.Telematika Jurusan Teknik Elektro UNHAS Makassar.



Gambar 1.3. Proses Perancangan dan Pembuatan Antena

Dalam penelitian ini beberapa teknik berikut ditempuh guna menyelesaikan secara akurat :

1. *Studi Literatur dan Kajian Pustaka.*

Pencarian dan pengumpulan acuan dasar teori berupa literatur terkait topik yang terdapat pada Tesis ini. Acuan dasar teori tersebut bisa berupa artikel ilmiah, buku referensi, jurnal ilmiah, hasil penelitian, maupun sumber-sumber lain yang akurat, valid dan dapat dipercaya.

2. *Evaluasi Performansi.*

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian alat dalam hal ini antenna yang telah dibuat.

1.7. Sistematika Penulisan

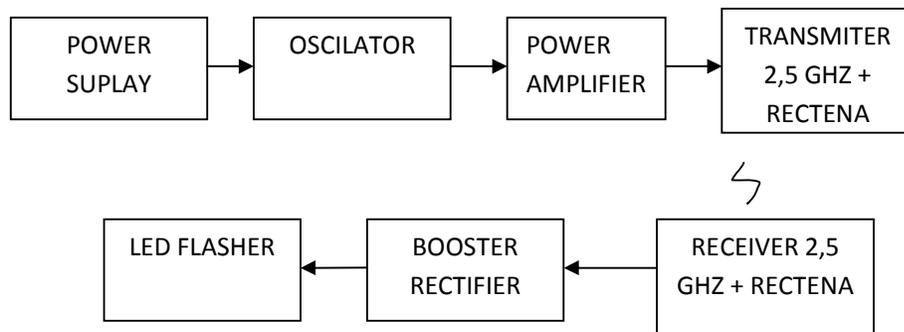
Laporan tesis ini terbagi atas 5 (lima) bab dan dijabarkan seperti yang dituliskan sebagai berikut:

- Bab I, merupakan bab pendahuluan yang terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.
- Bab II, merupakan tinjauan pustaka yang memuat gambaran umum pengiriman daya tanpa kabel, terminologi antenna, parameter-parameter antenna serta apa itu antenna mikrostrip.
- Bab III, merupakan bab yang berisi proses perancangan antenna microstrip yang digunakan dalam penelitian ini.

- Bab IV, merupakan bab yang berisi hasil penelitian yang dilakukan yaitu pengujian dan analisis kinerja *wireless power transmission* (WPT).
- Bab V, merupakan bab akhir dari laporan tesis ini. Bab ini berisi kesimpulan dan saran pengembangan untuk penelitian di masa yang akan datang.

1.8. Kerangka Pikir

Sistem transfer energi nirkabel merupakan sistem yang menangkap gelombang elektromagnetik yang berada di udara bebas hasil radiasi pemancar dan mengubahnya menjadi sumber energi perangkat berdaya kecil, misalnya - sensor, dalam penelitian ini gelombang elektromagnetik yang ditangkap oleh perangkat penerima berdaya operasi berasal dari pemancar/tranceiver. Skema sistem transfer energi nirkabel yang akan difokuskan untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut ditunjukkan oleh gambar 1.4



.Gambar 1.4. Blok Diagram Sistem Transmisi Daya Nirkabel

Secara umum sebuah sistem *wireless power transmission* ini terdiri dari :

- Power Suplay
- Rangkaian oscilcator
- Rangkaian Power Amplifier
- Rangkaian Transceiver 2,5 GHZ + Rectena
- Booster Rectifier
- Led Flasher

✓ Power Suppy

Perencanaan awal dalam membuat sistem *wireless power transmission* adalah membuat rangkaian power suppy yang digunakan. Pada penelitian ini hanya ditujukan untuk transmisi pada daya berkonsumsi kecil yaitu 12 V dengan arus sebesar 5 A.

✓ Oscilator

Pada sistem ini untuk memancarkan gelombang digunakanlah sebuah rangkaian osilator. Osilator yang digunakan yaitu *royer oscilator*.

✓ Rangkaian Power Amplifier

Rangkaian Power Amplifier disini fungsinya untuk memperkuat sinyal / gelombang yang dibangkitkan oleh sebuah oscilator.

✓ Tranceiver 2,5 GHZ + RECTENA

Tranceiver 2,5 GHZ adalah pemancar sekaligus penerima yang dapat memancarkan sinyal dan menerima sinyal sebesar 2,5 GHZ.

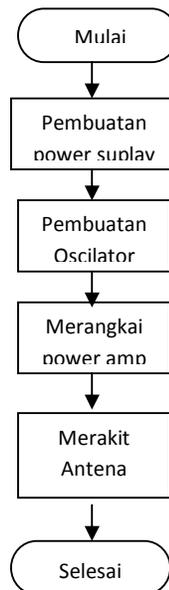
✓ Booster Rectifier

Booster rectifier adalah penyearah rangkaian penguat untuk memperkuat sinyal yang diterima pada *tranceiver 2,5 GHZ*.

✓ Led Flasher

Led flasher adalah indikator petunjuk pengisian baterai pada sistem pengisian baterai pada *wireless power transmission*,

Ringkasnya kerangka pikir tersebut dapat digambarkan melalui diagram alir sebagai berikut :



Gambar 1.5. Kerangka pikir

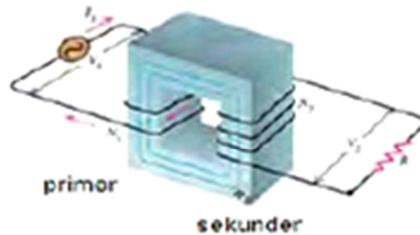
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel

Pengiriman daya listrik tanpa kabel dapat kita definisikan sebagai suatu sistem pengiriman daya listrik, dimana energi listrik tersebut ditransmisikan dari suatu sumber listrik menuju ke beban listrik tanpa melalui suatu konduktor. Dalam aplikasinya, sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini sama seperti pada sistem konvensional yaitu mengantarkan daya dari sumber menuju beban. Yang membedakan hanyalah meniadakan keberadaan kabel sebagai konduktor. Sehingga sistem yang baru ini dapat lebih praktis dan efisien dimana keberadaan kabel yang terkadang menyulitkan dalam instalasi dan memiliki harga yang cukup mahal dapat dihilangkan.[9]

Alat pengirim daya listrik tanpa kabel ini sangat berbeda dengan prinsip elektromagnetik konvensional, seperti yang pada trafo, dimana kumparan primer dapat mentransmisikan daya ke kumparan sekunder dalam jarak yang sangat dekat.[6]



Gambar 2.1. Trafo.[6]

Dalam suatu trafo, arus listrik mengalir ke kumparan primer dan menginduksi kumparan sekunder, kedua kumparan ini tidak bersentuhan akan tetapi berada dalam jarak yang sangat dekat. Tingkat efisiensi trafo akan sangat berkurang jika kedua kumparan ini dijauhkan. Selain trafo, sikat gigi elektrik tersebut akan mengisi ulang baterai jika ditempatkan pada tempatnya.[6]



Gambar 2.2. Sikat Gigi Elektrik.[6]

Tingkat efisiensi dari suatu induksi elektromagnetik dapat ditingkatkan dengan menggunakan rangkaian resonator. Cara ini biasa disebut juga induksi resonansi, yang banyak digunakan alat-alat pada bidang kesehatan. Dengan menggunakan prinsip ini telah berhasil

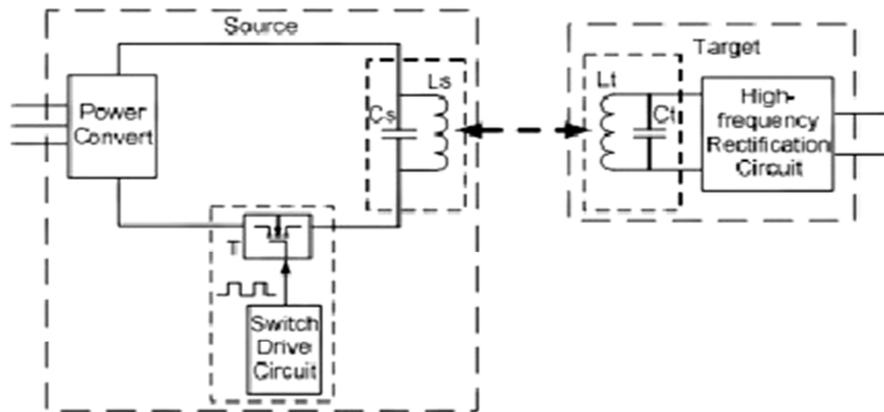
dibangun suatu alat yang dapat mentransmisikan daya listrik tanpa kabel, dengan jarak yang jauh berbeda dengan induksi tradisional.[6]

Teknologi dari pengiriman daya listrik tanpa kabel yang dimaksud di dalam tesis ini merupakan teknologi yang tidak beradiasi dan mengacu pada konsep medan dekat (*near-field*). Banyak teknik lain dalam bidang pengiriman energi listrik tanpa kabel yang berbasiskan kepada teknik radiasi, baik itu untuk keperluan informasi seperti gelombang radio, sinar laser (*narrow beam*) dan gelombang cahaya. Radiasi udara dan frekuensi pada gelombang radio banyak digunakan untuk mengirimkan informasi tanpa kabel karena informasi dapat ditransmisikan ke segala arah untuk dipakai oleh beberapa pengguna. Daya yang diterima pada setiap radio atau pada rangkaian penerima tanpa kabel sangatlah kecil, dan harus diperkuat lagi di dalam rangkaian penerima tersebut dengan menggunakan sumber listrik dari luar suatu alat tersebut. Oleh karena mayoritas dari daya radiasi terbuang dengan percuma kedalam udara bebas, transmisi radio ini sangat tidak efisien jika berfungsi untuk mengirimkan daya listrik dengan jumlah besar. Untuk menambah jumlah energi yang dapat ditangkap oleh rangkaian penerima, maka pada sisi rangkaian pemancar dapat diberikan daya yang lebih tinggi pula, akan tetapi hal ini tidak aman dan bahkan dapat mengganggu alat lain yang juga menggunakan frekuensi radio.[6]

Radiasi langsung, menggunakan antena yang diarahkan secara langsung dari sumber ke penerima tanpa ada halangan apapun untuk

menembakkan energi menggunakan frekuensi radio. Dengan cara ini, energi yang dapat diterima oleh rangkaian penerima menjadi meningkat akan tetapi cara ini juga berdampak langsung terhadap organisme dan dapat berbahaya. Oleh karena alasan inilah maka cara ini juga tidak dapat digunakan dalam pengiriman energi listrik dengan daya besar seperti untuk industri ataupun konsumsi peralatan elektronik sehari-hari. [7]

2.2. Struktur Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel



Gambar 2.3. Skema Diagram Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel.[6]

Pada gambar 2.3 diatas, ditunjukkan sebuah skema diagram sederhana dari suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel dengan menggunakan prinsip induksi resonansi magnet. Blok disebelah kiri (ditandai dengan garis putus-putus) merupakan suatu rangkaian pemancar, sedangkan blok disebelah kanan adalah merupakan rangkaian penerima dari sistem tersebut.

Semakin jauh jarak pengiriman daya listrik dari rangkaian pemancar ke rangkaian penerima, maka semakin kecil juga daya listrik yang dapat diterima oleh rangkaian penerima.

Proses pengiriman daya listrik tanpa kabel ini masih dapat mengirimkan daya listrik meskipun dihalangi oleh berbagai benda non metal akan tetapi jika dihalangi oleh metal maka daya listrik tidak dapat diterima oleh rangkaian penerima.

Fenomena resonansi elektromagnetik erat hubungannya dengan medan- medan elektromagnetik yang juga erat hubungannya dengan proses terjadinya aliran listrik. Radiasi dari medan elektromagnetik pada tingkat tertentu dapat menjadi berbahaya bagi kelangsungan hidup organisme yang berada di dalam jangkauannya. Medan elektromagnetik dapat diganti menjadi medan listrik dan medan magnet. Dan karena medan magnet jauh lebih aman bila dibandingkan dengan medan listrik, maka medan magnet menjadi pilihan yang paling tepat untuk digunakan sebagai media pengiriman energi jika dibandingkan dengan medan listrik dalam pemanfaatannya untuk perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik.[7]

Dalam pembangkitan suatu medan elektromagnetik, radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akan memuat sejumlah energi yang dipancarkan ke lingkungan. Energi ini akan terus terpancar tidak peduli apakah ada yang menangkapnya atau tidak. Apabila terdapat

suatu benda yang mampu menangkap radiasi elektromagnetiknya, maka benda tersebut akan beresonansi dan akan menerima energi tersebut dan terjadilah perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik.[6]

Dari penjelasan diatas maka akan dapat dirancang sebuah resonator yang memiliki frekuensi resonansi tertentu yang kemudian akan berperan menjadi penghasil medan elektromagnetik sebagai sumber energi dan sebuah alat yang dapat menangkap radiasi gelombang elektromagnetik tersebut sehingga kedua alat tersebut akan dapat terhubung secara resonansi elektromagnetik. Secara teknis sinyal yang terkirim pada saat tidak ada daya atau energi yang dikirimkan dan ada daya atau energi yang terkirim tidak ada bedanya. Energi yang diterima kemudian digunakan sebagai penyelundup beban setelah dikonversikan dengan rangkaian tambahan.

Secara umum sistem elektromagnetik dengan frekuensi resonansi sama, memiliki nilai efektif dalam radius tertentu. Apabila didalam radius efektif tersebut sumber medan elektromagnetik atau penangkap gelombang elektromagnetik lain yang memiliki frekuensi resonansi yang sama atau hampir sama dengan sistem sebelumnya maka mereka akan dapat bergabung dengan sistem resonansi elektromagnetik yang lebih besar.

2.3. Terminologi Antena

Kata antena berasal dari bahasa Italia yaitu *l'antenna* yang berarti tiang. Kata antena ini sendiri dihubungkan dengan Guglielmo Marconi (Bapak Radio) yang pada tahun 1895 bereksperimen dengan suatu peralatan radio (*wireless*) berupa tiang sepanjang 2.5 meter di Pegunungan Alpen, Swiss. Tiang dengan kawat disepanjangnya ini digunakan untuk meradiasikan dan menerima elemen antena atau gelombang radio.[3]

Tetapi sebelumnya, antena digunakan pada 1888 oleh Henrich Hertz untuk membuktikan keberadaan atau adanya gelombang elektromagnetik yang diprediksi oleh teori dari James Clerk Maxwell. Hertz menempatkan dipole emiter pada titik fokus reflektor parabola. Antena Hertzian adalah suatu perangkat terminal yang tidak membutuhkan adanya *ground* untuk beroperasi. Hal ini bertentangan dengan antena Tesla yang membutuhkan *ground* untuk beroperasi. Saat perkembangan radio, Nikola Tesla mengatakan bahwa " satu dari sumber terminal akan dihubungkan ke tanah (sebagai *electric ground connection*) dan yang lain ke suatu benda yang terisolasi dari permukaan yang luas.[3]

Kebanyakan jenis antena merupakan batang vertikal sederhana dengan panjang gelombang seperempat lamda. Antena yang demikian memiliki konstruksi atau bentuk yang sederhana, biasanya tidak mahal, dan meradiasikan serta menerima energi RF dari seluruh arah horisontal (*omnidirectional*). [1]

Pada dasarnya terdapat dua jenis antena, yang mana berhubungan dengan salah satu bidang tiga dimensi (biasanya horisontal atau vertikal) :

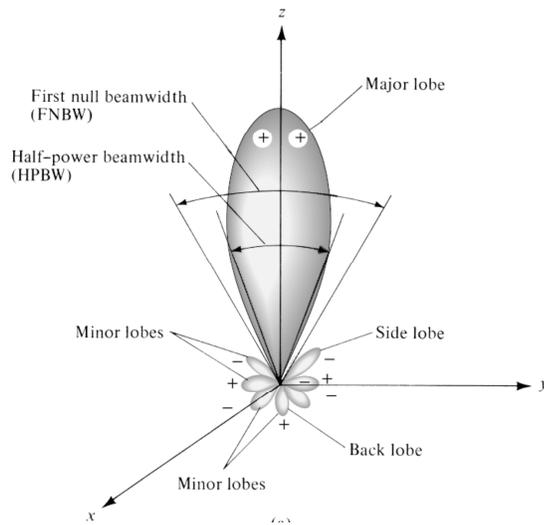
1. *Omnidirectional* (meradiasikan sama energi sinyal RF ke semua arah), seperti batang vertikal
2. *Directional* (meradiasikan energi sinyal RF lebih ke satu arah dari pada arah yang lain) [1]

2.4. Parameter-Parameter Antena

Untuk menggambarkan unjuk kerja suatu antena, sangat penting untuk memahami parameter-parameter antena. Beberapa parameter saling berhubungan dan tidak semua perlu ditentukan untuk gambaran keseluruhan dari kinerja antena. Jenis parameter-parameter antena menurut IEEE *Standard Definition of Terms for Antennas*, yaitu pola radiasi, intensitas radiasi, lebar *beam* (*beamwidth*), keterarahan (*directivity*), penguatan (*gain*), lebar pita (*bandwidth*), polarisasi, dan impedansi *input*. Parameter lain yang turut menentukan keberhasilan unjuk kerja antena yaitu *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), dan koefisien refleksi (S_{11}).[3]

2.4.1. Pola Radiasi

Pola radiasi atau pola antena didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Sering kali, pola radiasi ditentukan pada daerah *far field* dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat arah.[3]

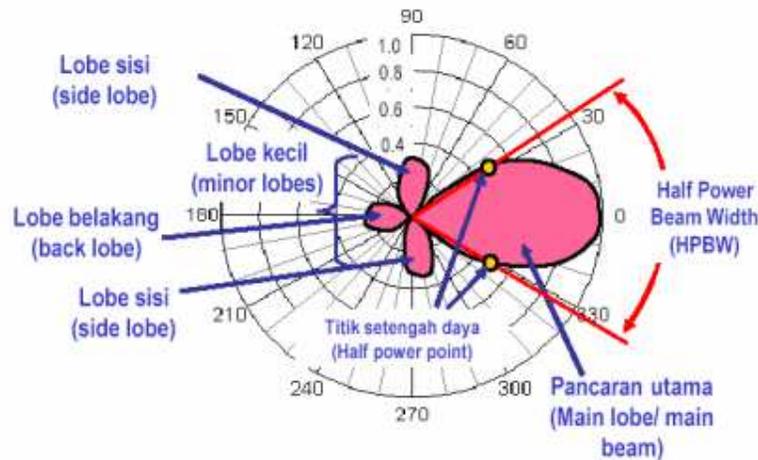


Gambar 2.4. *Polar plot* dari pola radiasi [3]

Berbagai bagian dari radiasi disebut sebagai *lobe*, yang dibagi menjadi *major* atau *main lobe*, *minor lobe*, *side lobe* dan *back lobe*. *Lobe* adalah bagian dari pola radiasi yang dibatasi oleh daerah dari intensitas radiasi yang relatif lemah. Gambar 2.4 menunjukkan pola 3D *polar* yang simetris dengan sejumlah *lobe*. Beberapa intensitas radiasinya lebih besar dari yang lain, tapi semua disebut sebagai *lobe* .[3]

Major lobe (disebut juga *main beam*) didefinisikan sebagai *lobe* yang mengandung arah dari radiasi maksimum. *Minor lobe* adalah *lobe* apa saja selain *major lobe*. *Side lobe* adalah *lobe* pada beberapa arah selain *lobe* yang diinginkan. *Back lobe* adalah *lobe* yang sumbuanya terletak kira – kira 180° dari *beam* antenna. Parameter antenna ini biasanya berhubungan dengan *minor lobe* yang menempati bagian dari arah yang berlawanan dari *major lobe*. *Minor lobe* biasanya menggambarkan radiasi

pada arah yang tidak diinginkan dan seharusnya bentuknya kecil. *Side lobe* biasanya *minor lobe* yang terbesar.[3]



Gambar 2.5 Pola radiasi pada koordinat *polar* [3]

Half Power Beam Width (HPBW) adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi. HPBW dapat dihitung dengan mencari titik -3 dB dari nilai maksimum pola radiasi tersebut, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.5.

Front To Back Ratio (FTBR) adalah perbandingan antara daya maksimum yang dipancarkan pada *main lobe* dan daya pada *back lobe* . Nilai *front to back ratio* (FTBR) dapat diketahui dengan membandingkan daya antenna pada saat level penerimaan daya maksimum (pada posisi 0° pada *main lobe*) dan pada arah yang berlawanan (pada posisi 180° pada *back lobe*). Berdasarkan pola radiasi yang diperoleh, nilai *front to back ratio* dapat dihitung dengan [3]:

$$\frac{F}{B} \text{ ratio} = P(0^\circ) - P(180^\circ) \dots \dots \dots (2.1)$$

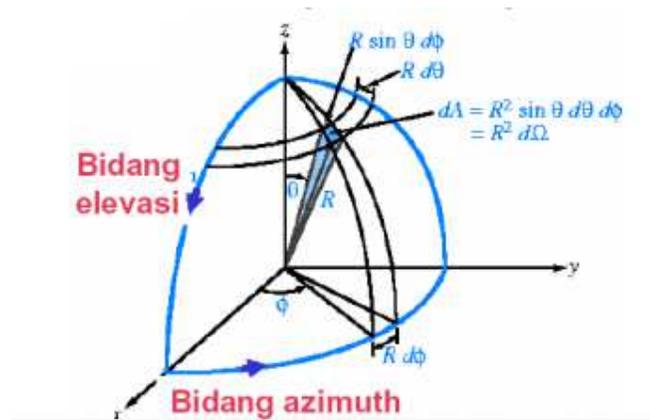
Nilai *front to back ratio* dalam bentuk dB dapat dikonversi ke dalam satuan *Watt* (W) dengan rumus[1] :

$$Watt = 10 \log P_{(dB)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Selain dalam bentuk Watt dan satuan dB, dapat pula dikonversi ke dalam satuan *Volt* (V) dengan rumus [1]:

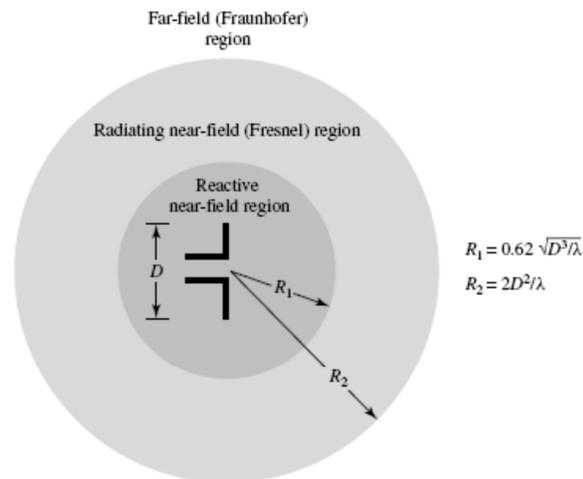
$$Volt = 20 \log V_{(dB)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Pola pancaran dapat dengan mudah dipahami dengan menggunakan sistem koordinat bola seperti pada Gambar 2.6. Bidang xz (*E Plane*) adalah bidang elevasi (*orthogonal*) dimana $\Phi=0$ yang merupakan vektor medan listrik dan arah radiasinya maksimum. Sedangkan bidang xy (*H Plane*) adalah bidang azimut yang merupakan vektor medan magnet dan arah radiasinya maksimum. Radiasi yang maksimum normalnya menghasilkan 2 bidang .[3]



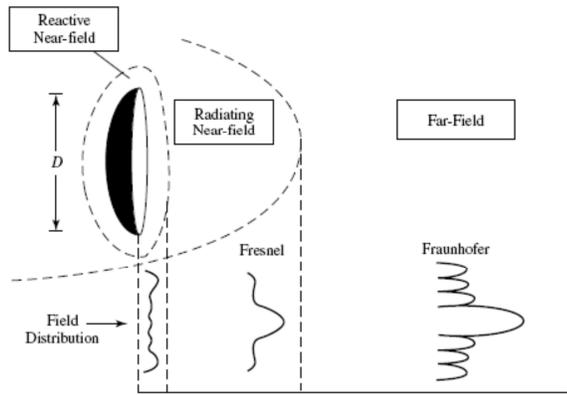
Gambar 2.6. Radiasi antenna pada bidang elevasi dan azimut.[3]

Ruang di sekitar suatu antenna biasanya dibagi menjadi 3 daerah yaitu *reactive near field*, *radiating near field (Fresnel)*, dan *far field (Fraunhofer)*. Daerah ini didesain untuk mengidentifikasi setiap struktur bidang.[3]



Gambar 2.7. Daerah bidang antenna.[3]

Daerah *reactive near field* didefinisikan sebagai bagian dari daerah bidang dekat di sekitar antenna dimana bidang reaktif sangat menonjol. Daerah *radiating near field (Fresnel)* didefinisikan sebagai daerah dari bidang suatu antenna antara daerah *reactive near field* dan daerah *far field* dimana bidang radiasi menonjol dan dimana distribusi bidang siku – siku bergantung pada jarak dari antenna. Daerah *far field (Fraunhofer)* didefinisikan sebagai daerah dari bidang suatu antenna dimana distribusi bidang siku – siku pada dasarnya tidak bergantung pada jarak dari suatu antenna.[3]



Gambar 2.8. Perubahan tipe pola radiasi antena dari *reactive near field* sampai *far field* [3].

2.4.2 Intensitas Radiasi

Intensitas radiasi didefinisikan sebagai daya yang diradiasikan dari suatu antena per satuan sudut ruang. Intensitas radiasi merupakan parameter *far field* dan dapat dihasilkan dari mengalikan kerapatan radiasi (*radiation density*) dengan kuadrat jarak . Secara matematis diekspresikan sebagai [2]:

$$U = r^2 W_{rad} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana, U = intensitas radiasi (W/satuan sudut ruang)

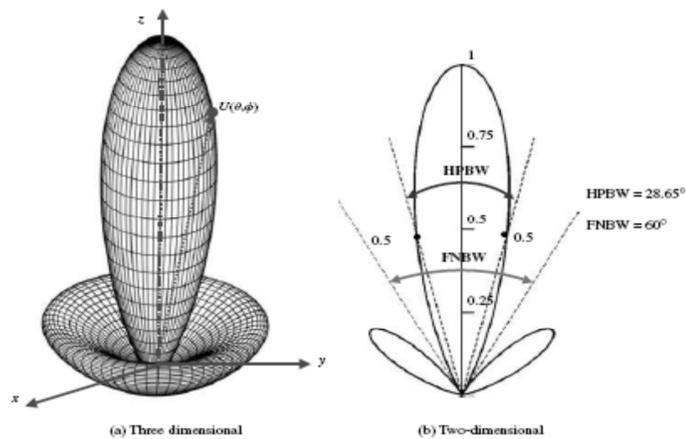
W_{rad} = kerapatan radiasi (W/m²)

r = radius radiasi (m)

2.4.3 Lebar *Beam* (*Beamwidth*)

Lebar *beam* dari suatu pola radiasi antena didefinisikan sebagai sudut pemisahan antara dua titik yang sama dengan sisi yang berlawanan dari pola maksimum. Pada suatu pola radiasi antena terdapat beberapa

lebar *beam*. Salah satu lebar *beam* (*beamwidth*) yang digunakan adalah *Half Power Beamwidth* (HPBW), yang didefinisikan oleh IEEE bahwa pada suatu bidang yang mengandung arah dari *beam* maksimum, sudut antara dua arah yang intensitas radiasinya setengah dari nilai *beam*. Lebar *beam* (*beamwidth*) penting lainnya adalah sudut pemisahan antara titik pertama dari pola yang disebut *First Null Beamwidth* (FNBW). Dalam prakteknya istilah lebar *beam* (*beamwidth*) biasanya ditujukan pada HPBW. [3]



Gambar 2.9. 3D dan 2D dari pancaran antenna.[3]

2.4.4 Penguatan (*Gain*)

Penguatan antenna didefinisikan sebagai perbandingan intensitas pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan dihasilkan jika daya yang diterima oleh antenna yang diradiasikan secara isotropik. Untuk menghitung besarnya penguatan (*gain*) suatu antenna (G_t) yang dibandingkan dengan antenna standar (G_s), dapat dinyatakan secara numerik yaitu berupa perbandingan daya antenna yang diukur (P_t) dengan daya antenna isotropik (P_s) seperti persamaan 2.5 [3]:

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \dots \dots \dots (2.5)$$

dan dapat pula dinyatakan dengan dB sebagai berikut :

$$G_t = (P_t - P_s) + G_s \dots \dots \dots (2.6)$$

2.4.5 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan didefinisikan sebagai perbandingan dari intensitas radiasi suatu antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Jadi bisa dinyatakan lebih sederhana bahwa, keterarahan dari sumber non isotropik sama dengan perbandingan dari intensitas radiasinya pada arah tertentu dengan intensitas radiasi sumber isotropik. Keterarahan menggambarkan seberapa banyak suatu antena memusatkan energinya pada suatu arah dibanding ke arah lain. Keterarahan dapat menyatakan penguatan suatu antena jika seluruh daya *input* menjadi daya radiasi. Dan hal ini tidak mungkin terjadi karena adanya *losses* pada daya *input*. Bagian daya *input* (P_{in}) yang tidak muncul sebagai daya radiasi diserap oleh antena dan struktur yang dekat dengannya. Hal tersebut menimbulkan suatu definisi, yaitu yang disebut dengan efisiensi radiasi. Sehingga *gain* maksimum suatu antena sama dengan keterarahan dikalikan dengan efisiensi dari antena.[3]

Jika efisiensi antena 100%, maka keterarahannya akan sepadan dengan penguatan dan antena akan menjadi *isotropic radiator*. Bentuk matematisnya dinyatakan sebagai [3] :

$$D = \frac{4\pi}{(\theta_H \cdot \theta_E)} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana : θ_H = sudut pada titik setengah daya bidang H (*radian*)

θ_E = sudut pada titik setengah daya bidang E (*radian*)

Jika arah tidak ditentukan, maka secara tidak langsung arah dari intensitas radiasi maksimum (keterarahan maksimum atau *maximum directivity*) dinyatakan sebagai berikut [3] :

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{|max}}{U_o} = \frac{U_{max}}{U_o} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana : D = keterarahan (*dimensionless*)

D_0 = keterarahan maksimum (*dimensionless*)

U = intensitas radiasi (W/satuan sudut ruang)

U_{max} = intensitas pancaran maksimum (W/satuan sudut ruang)

U_o = intensitas pancaran rata-rata (W/satuan sudut ruang)

P_{rad} = total daya yang diradiasikan (W)

Keterarahan adalah suatu kuantitas tanpa ukuran dari rasio dua radiasi intensitas sinyal RF. Keterarahan biasanya dinyatakan dalam dBi. Keterarahan mempresentasikan pengarahannya antena, semakin besar keterarahan dapat diartikan bahwa lebar berkasnya semakin sempit.[3]

2.4.6 Lebar Pita (*Bandwidth*)

Lebar pita dari suatu antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi dari kinerja suatu antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik yang sesuai dengan standar yang ditentukan. Pada rentang

frekuensi tersebut, antena diusahakan dapat bekerja dengan efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik pada *band* frekuensi tertentu[26]. Distribusi arus dan impedansi dari antena pada *range* frekuensi tersebut benar-benar belum mengalami perubahan yang berarti sehingga masih sesuai dengan pola radiasi yang direncanakan dan VSWR yang diijinkan. Secara umum, lebar pita (*bandwidth*) dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.9 [3]:

$$BW = f_U - f_L \dots\dots\dots(2.9)$$

Lebar pita (*bandwidth*) dapat pula dinyatakan dalam bentuk persen sebagai berikut :

$$BW = \frac{f_U - f_L}{f_C} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan: f_U = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_L = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

f_C = frekuensi tengah dalam *band* (GHz)

Untuk antena *broadband*, lebar pita didefinisikan sebagai rasio frekuensi teratas terhadap frekuensi terbawah dari frekuensi operasinya. Suatu antena disebut antena *broadband* apabila $f_U/f_L = 2$. Lebar pita dinyatakan oleh beberapa nilai karakteristik antena seperti impedansi *input*, pola radiasi, lebar *beam*, polarisasi, penguatan, efisiensi pancaran berada dalam level yang dapat diterima di sekitar pusat frekuensi [3].

Persamaan untuk perhitungan lebar pita (*bandwidth*) antena yang dikategorikan antena *broadband* adalah sebagai berikut [3]:

$$BW_{broadband} = \frac{f_U}{f_L} = 2 \dots\dots\dots(2.11)$$

sedangkan untuk menyatakan antenna dengan lebar pita (*bandwidth*) *narrowband* dalam bentuk persen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

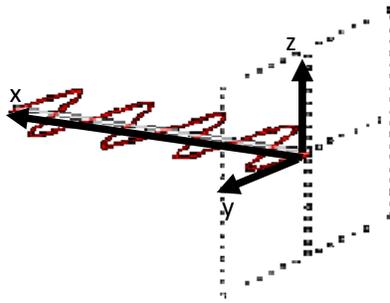
$$BW_{broadband}(\%) = \left[\frac{f_U - f_L}{\sqrt{f_U \times f_L}} \right] \times 100 \dots\dots\dots(2.12)$$

2.4.7 Polarisasi Antena

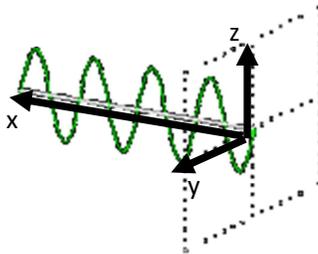
Polarisasi sebuah antenna didefinisikan sebagai arah penjalaran dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Polarisasi menggambarkan *magnitude* relatif dari vektor medan listrik (*E*) sebagai fungsi waktu pada titik tertentu pada suatu bidang perambatan. Ada beberapa jenis polarisasi yang dapat terjadi pada gelombang elektromagnetik. Suatu polarisasi disebut polarisasi vertikal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antenna berarah vertikal terhadap permukaan bumi. Sebaliknya, suatu polarisasi disebut polarisasi horisontal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antenna berarah horisontal terhadap permukaan bumi. Kedua jenis polarisasi tersebut sering disebut polarisasi linier [3].

Namun ada beberapa jenis antenna yang polarisasinya bukan polarisasi vertikal maupun polarisasi horisontal karena gelombangnya memiliki vektor medan listrik dimana ujung vektor tersebut seolah-olah berputar membentuk suatu lingkaran ataupun *ellipse* dengan pusat sepanjang sumbu propagasi. Selanjutnya jika perputaran ujung vektor

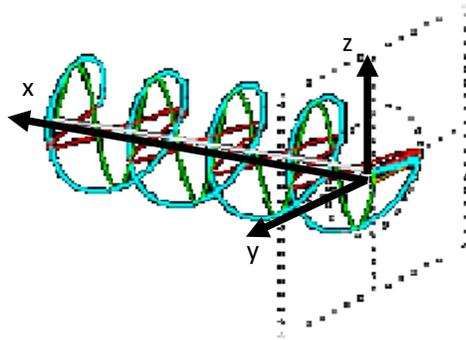
medan yang dipancarkan berbentuk lingkaran maka disebut polarisasi *circular*. Jika vektornya berputar berlawanan arah jarum jam dinamakan *right hand polarize* dan jika vektornya berputar searah jarum jam dinamakan *left hand polarize*. Sedangkan jika perputaran ujung vektor medan yang dipancarkan berbentuk *ellipse* maka dinamakan polarisasi *ellipse*. Untuk melihat perbedaan dari beberapa pola radiasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 sampai dengan Gambar 2.14 berikut [3] .



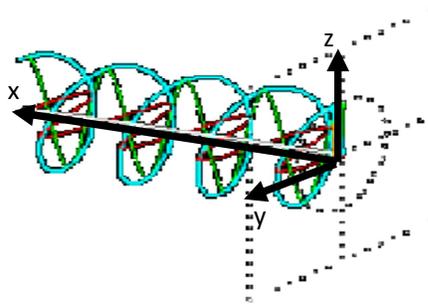
Gambar 2.10 Polarisasi linier *horizontal* [3]



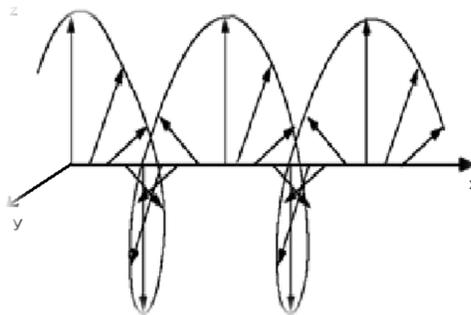
Gambar 2.11 Polarisasi linier *vertikal* [3]



Gambar 2.12 *Left hand circular polarize* [3]



Gambar 2.13 *Right hand circular polarize* [3]



Gambar 2.14 *Polarisasi elliptical* [3]

Agar dapat menerima sinyal yang maksimum, polarisasi antenna penerima harus sama dengan polarisasi antenna pemancar.

2.4.8 Impedansi *Input*

Impedansi *input* adalah impedansi yang diukur pada gerbang (*port*) RF terminal antenna parameter ini merupakan perbandingan tegangan dan arus pada titik tersebut. Impedansi *input* selain ditentukan oleh letak titik catu antenna, juga dipengaruhi oleh antenna lain atau benda-benda yang berada di sekitar antenna serta frekuensi kerjanya. Impedansi *input* antenna dinyatakan dalam bentuk kompleks yang memiliki bagian *real* dan bagian imajiner. Bagian *real* merupakan resistansi masukan (R_{in}) yang menyatakan daya yang diradiasikan oleh antenna pada medan jauh. Sedangkan bagian imajiner merupakan reaktansi masukan (X_{in}) yang menyatakan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Impedansi *input* antenna dapat dihitung sebagai berikut [3] :

$$Z_{in} = R_{in} + j X_{in} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.4.9 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan kemampuan suatu antenna untuk bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Ketika suatu saluran transmisi diakhiri dengan impedansi yang tidak sesuai dengan karakteristik saluran transmisi, maka tidak semua daya diserap di ujung. Sebagian daya direfleksikan kembali ke saluran transmisi. Sinyal yang masuk bercampur dengan sinyal yang dipantulkan yang menyebabkan suatu gelombang tegak tegangan mempola di saluran transmisi. Perbandingan tegangan maksimum terhadap tegangan minimum disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).[3]

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antena adalah $VSWR \leq 2$. Praktiknya suatu VSWR 1.2 : 1 adalah yang terbaik. Pada VSWR 2.0, kira-kira 10% dari daya dipantulkan kembali ke sumber. Tingginya VSWR tidak hanya berarti daya terbuang, tetapi juga daya yang dipantulkan akan menyebabkan kabel panas [3] .

Untuk dapat beroperasi efisien, pada antena perpindahan maksimum daya harus berlangsung antara pemancar dan antena. Daya maksimum yang ditransferkan dicapai ketika impedansi *input* antena Z_{in} cocok dengan impedansi *antenna* pemancar, sebagaimana rumusnya[3] :

$$Z_{in} = Z_s \dots\dots\dots (2.14)$$

Jika kondisi ini tidak terjadi, maka akan menyebabkan suatu gelombang berdiri atau VSWR. VSWR pada dasarnya adalah ukuran tidak sepadannya impedansi antara pemancar dan antena. VSWR yang besar berarti besar pula ketidaksepadanannya. Secara matematis VSWR dinyatakan sebagai [3]:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \dots\dots\dots (2.15)$$

Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_t} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana : Γ = koefisien refleksi

V_r = amplituda gelombang yang dipantulkan

V_t = amplituda gelombang masuk

Z_{in} = impedansi antena *input*

Z_s = impedansi antena pemancar

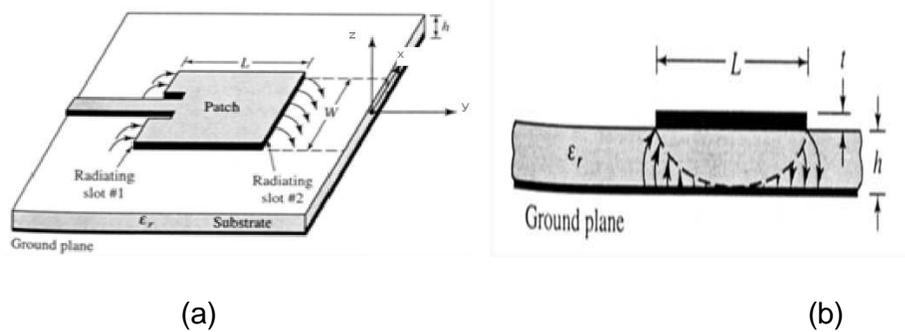
Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnituda dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka [3]:

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *match* sempurna,
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match*.

2.5. Antena Microstrip

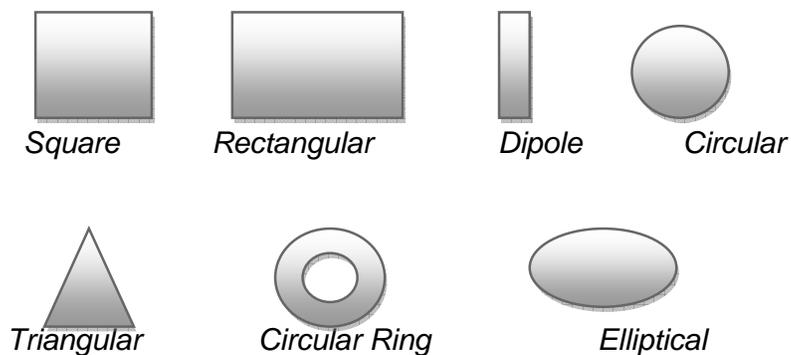
Konsep mengenai Antena *Microstrip* pertama kali diusulkan oleh Deschamps pada tahun 1953. Namun mulai diimplementasikan dan dikembangkan oleh Munson dan Howell pada tahun 1970 . Struktur dasar dari sebuah Antena *Microstrip* dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut [2]:



Gambar 2.15. Struktur dasar Antena *Microstrip*

(a) tampak atas (b) tampak samping [2]

Pada Gambar 2.15 di atas dapat diperhatikan struktur dasar dari sebuah Antena *Microstrip* yaitu potongan (*patch*) logam yang biasanya terbuat dari tembaga yang dicetak tipis pada dasar dielektrik yang ditanahkan. *Patch* sebagai pelat yang meradiasikan daya dari sebuah *dielectric*. *Ground plane* dan *patch* dihubungkan oleh sebuah *center conductor* yang biasanya terbuat dari bahan tembaga. Bentuk Antena *Microstrip* bermacam-macam, umumnya digunakan *rectangular* dan *circular* karena lebih mudah dianalisis [2].



Gambar 2.16 Beberapa model *patch* untuk Antena *Microstrip*. [2]

Antena *Microstrip* banyak digunakan pada *link* komunikasi antara kapal dengan sistem satelitnya (untuk sistem navigasi), *Global System for Mobile Communication* (GSM), *domestic direct broadcast TV*, *telemetry*, radar, dan paling banyak digunakan yaitu pada *Global Positioning System* (GPS) .

Dielektrik merupakan komponen penting pada Antena *Microstrip*. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui karakteristik dari dielektrik tersebut dengan mengetahui permitivitas relatif atau konstanta dielektrik. Permitivitas relatif atau konstanta dielektrik adalah sebuah konstanta yang melambangkan rapatnya fluks elektrostatik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Permitivitas relatif merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial relatif terhadap ruang hampa. Permitivitas relatif dilambangkan dengan huruf Yunani ϵ_r atau kadang-kadang κ , K , atau Dk . Secara matematis permitivitas relatif suatu bahan didefinisikan sebagai [2] :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana, ϵ_r = permitivitas relatif atau konstanta dielektrik

ϵ = permitivitas suatu bahan

ϵ_0 = permitivitas vakum = $8.854 \cdot 10^{-12}$ Farad/m

Pada Tabel 2.1 ditunjukkan beberapa bahan dielektrik yang tersedia dalam *software* Ansoft HFSS v13 yang biasanya digunakan sebagai substrat.

Tabel 2.1 Daftar permitivitas relatif dan beberapa material [3]

Material	Permitivitas Relatif
Udara	1
Copper	1
RT/Duroid™ 5880	2.2
FR4-Epoxy	4.4
Silicone – Nitrate	7
Mica	5.7
PEC	1
Alumina	9.4
Silicon	11.9
Gallium Arsenide	12.9
Roger 3210	10.2

FR-4 adalah singkatan dari *Flame Retardant 4*, merupakan jenis bahan yang paling banyak digunakan untuk membuat Printed Circuit Board (PCB). Harga FR4-Epoxy yang murah dan memiliki sifat mekanik yang baik membuatnya sering digunakan untuk produksi massal produk-produk konsumen elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antena. FR4 memiliki parameter standar dan nilai-nilai umum yang dikenal seperti pada Tabel 2.2.[3]

Tabel 2.2 Parameter umum FR4* [3]

Relative Permittivity	3.9 to 4.8
Dielectric Breakdown	39kV/mm
Water Absorption	<1.3%
Dissipation Factor	0.022
Thermal Expansion	16-19ppm/degC

*Nilai ini bisa bervariasi untuk setiap pihak manufaktur.

Bahan dielektrik lain yang sering dipakai adalah RT/Duroid™ 5880 dengan permitivitas relatif 2.2, dan *loss tangent* 0.0012. Material ini dapat

memberikan *bandwidth* yang besar karena permitivitas relatifnya yang rendah.[3]

2.5.1 Karakteristik Antena *Microstrip*

Antena *Microstrip* telah terbukti sebagai radiator yang sangat baik untuk berbagai macam aplikasi karena beberapa kelebihan yang dimilikinya. Antena *Microstrip* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan antena *microwave* biasanya [3]. Kelebihan tersebut mencakup :

- a. Dimensi kecil dan konfigurasi yang *low profile* dibandingkan struktur antena yang lain.
- b. Kemudahan mengintegrasikan dengan *Microwave Integrate Circuit* (MIC) yang lain pada substrat yang sama.
- c. Dapat dibuat pelat yang digunakan untuk *personal mobile communication*.
- d. Dapat beroperasi pada *multiband* frekuensi.

Selain kelebihan-kelebihan yang dimiliki, Antena *Microstrip* juga memiliki beberapa kekurangan , yaitu [3] :

- a. Lebar pita (*bandwidth*) yang dihasilkan relatif lebih sempit dibandingkan antena konvensional. Saat ini dilakukan penelitian untuk peningkatan lebar pita Antena *Microstrip* dari *narrow bandwidth* menjadi *broad bandwidth*. Lebar pita (*bandwidth*) dapat ditingkatkan dengan menggunakan tebal substrat yang konstanta dielektriknya rendah. Cara lain adalah dengan menggunakan teknik *feeding* yang sesuai dengan model desain yang dibuat.

- b. Penguatan (*gain*) yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan antena konvensional
- c. Rendahnya kapasitas pengaturan daya dibandingkan dengan antena konvensional
- d. Efisiensi yang rendah dibandingkan antena konvensional

Unjuk kerja dari sebuah Antena *Microstrip* ditentukan oleh ukuran *patch* dan tebal dielektrik. Ukuran dari dielektrik sangat kecil sebanding dengan panjang gelombang. Oleh karena itu, *patch* antena ditujukan untuk dua hal, yaitu untuk distribusi arus dan tegangan pada *patch*, serta kemampuan meradiasikan gelombang elektromagnetik. Apabila panjang Antena *Microstrip* sebesar setengah panjang gelombang dari bahan, diasumsikan medan listrik pada sisi *input* sepanjang W positif mengarah dari *ground plane* ke *conductor*, maka pada sisi ujung yang lain medan listrik akan mengarah sebaliknya, yaitu dari *conductor* ke *ground plane*. Sehingga kedua komponen vertikal dari kedua medan listrik akan saling menghilangkan, sedangkan komponen horisontal akan berubah secara kontinu setelah melewati *conductor* sepanjang L dan ini akan dirasakan sebagai radiasi di medan jauh. Medan listrik yang menyebar dari kedua sisi Antena *Microstrip* ke udara bebas disebut sebagai medan limpahan (*fringing field*).[3]

Pada dasarnya setiap elemen dari Antena *Microstrip* berpengaruh terhadap unjuk kerja Antena *Microstrip* secara keseluruhan. Misalnya,

pengaruh tinggi h dan permitivitas relatif ϵ_r dari substrat, adalah sebagai berikut :

- Naiknya h substrat dielektrik akan meningkatkan medan-medan limpahan di sepanjang tepi. Hal ini mengakibatkan perpanjangan panjang efektif L_{eff} sehingga frekuensi resonansi berkurang.
- Lebar pita dari Antena *Microstrip* meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan substrat h atau dengan menurunnya konstanta dielektrik ϵ_r .
- Keterarahan (*directivity*) antena meningkat karena daerah *effective aperture* meningkat, kaitannya dengan ΔL .
- Secara umum, awalnya efisiensi antena naik dengan naiknya ketebalan substrat karena meningkatnya daya yang dipancarkan antena (*radiated power*). Namun setelah itu, akan mulai menurun karena *cross-polar level* yang tinggi dan terjadi eksitasi *surface wave*.

Panjang Antena *Microstrip* L harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka lebar pita akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang *lebar pita* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari Antena *Microstrip* W , impedansi *input* juga akan berubah. Semakin lebar W , impedansi *input* berkurang.[3]

Dalam prakteknya, ukuran dari *ground plane* terbatas (*finite ground plane*). Ukuran dari *ground plane* ini dibatasi untuk mengurangi

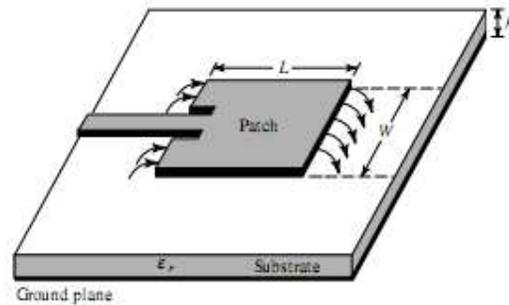
kompleksitas dalam proses komputasi numeriknya. Pola radiasi dari *Rectangular Microstrip Antenna* (RMSA) dengan *finite ground plane* tidak terhindarkan dari efek *back lobe*, sebaliknya pada *infinite ground plane* tidak terdapat *back lobe*. [3]

2.5.2 Teknik Feeding

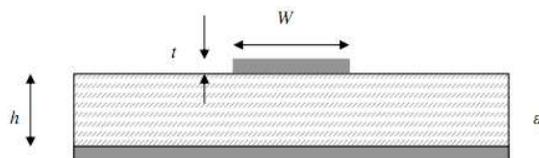
Dalam perancangan Antena *Microstrip* dikenal beberapa teknik *feeding* yang berbeda disertai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Teknik *feeding* mempengaruhi impedansi *input* dan karakteristik antena. Oleh karena itu teknik *feeding* tidak pernah terlepas dari proses perancangan dan desain parameter Antena *Microstrip*.

Secara umum terdapat 4 teknik *feeding* yang populer digunakan yaitu *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*. *Microstrip line* dan *coaxial probe* biasanya disebut *direct feeding*, sedangkan *aperture coupling* dan *proximity coupling* biasanya disebut *indirect feeding*. [2]

Microstrip feed line berupa pelat pengantar yang secara sekilas seperti bagian dari *radiating patch* karena letaknya yang langsung *dicouple* dengan *patch*, hanya saja memiliki lebar yang sangat kecil dibanding *patch*. Struktur *microstrip line* seperti pada Gambar 2.17 dan Gambar 2.18 [2]:



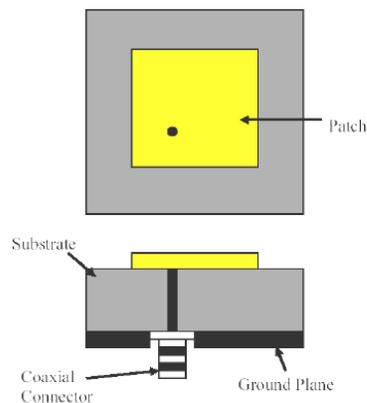
Gambar 2.17 Struktur *Microstrip Line* [2]



Gambar 2.18 Struktur *Microstrip Line* tampak samping [2]

Microstrip line mudah dalam proses fabrikasinya dan tidak terlalu rumit untuk mengintegrasikannya dalam struktur desain. Sedangkan kekurangannya adalah jika tinjau dari aspek radiasi *feed line*. Struktur *microstrip line* yang langsung ter-*couple* dengan *patch* dapat menimbulkan *cross polarisasi* sehingga dapat mengacaukan radiasi medan listrik dan medan magnet ke *radiating patch*. Selain itu, untuk daerah frekuensi dengan panjang gelombang millimeter, ukuran *feed line* dapat *sebanding* dengan ukuran *patch*.

Coaxial probe atau *coaxial line feed* tersusun seperti pada Gambar 2.19 [4]:

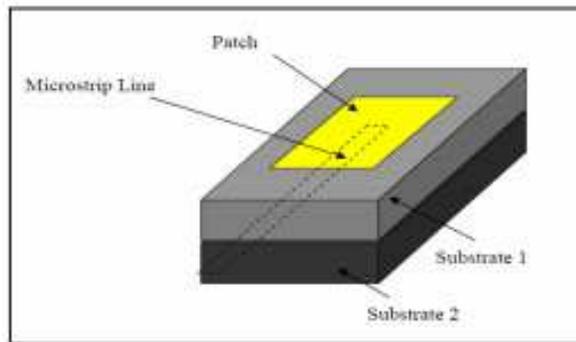


Gambar 2.19 Struktur *coaxial probe feeding* [4]

Pada Gambar 2.19 di atas dapat dilihat struktur *coaxial probe feeding* tampak atas dan tampak sampingnya. *Coaxial probe* adalah teknik *feeding* yang paling banyak digunakan. *Center conductor* dari konektor *coaxial* disolder langsung ke bagian *patch* melewati substrat dengan bagian luarnya terhubung ke *ground plane* [4] .

Kelebihan *coaxial probe* adalah kemudahan dalam proses fabrikasinya dibandingkan teknik *feeding* yang lain. Selain itu fleksibilitas penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching* impedansi *inputnya*. Namun kelemahannya adalah *coaxial probe* dihubungkan ke substrat dengan membuat *hole* atau lubang pada *ground plane* sehingga struktur yang demikian dapat menjadikan konfigurasi tidak planar . Selain itu *coaxial probe* dapat menyebabkan impedansi *input* lebih induktif seiring pertambahan panjang *probe*.

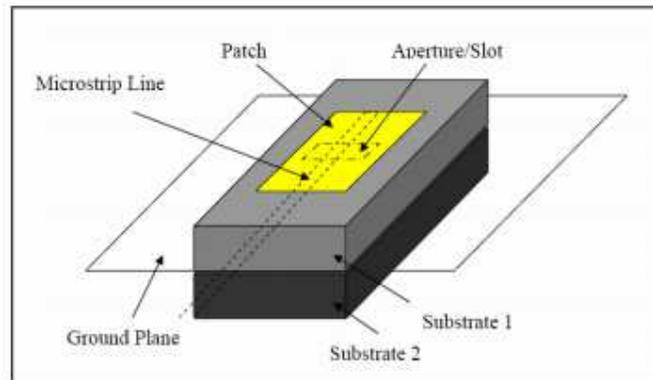
Seperti disebutkan di atas bahwa selain teknik *direct feeding*, terdapat pula teknik *indirect feeding* yakni *proximity coupling* dan *aperture coupling*. *Proximity coupling* dibuat dengan menempatkan *feed line* antara dua medium *dielectric* yaitu antara *patch* dengan *ground plane* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.20 [4]:



Gambar 2.20. Struktur *proximity coupling feed* [4]

Seperti terlihat pada Gambar 2.20 bahwa teknik *feeding proximity coupling* tersusun atas dua layer, satu layer untuk *patch* dan layer yang lain untuk *feed line*. Teknik ini memberikan peningkatan performansi yaitu meningkatkan lebar *bandwidth*. Akan tetapi membutuhkan ketelitian penyesuaian kedua layernya agar tepat berada pada koordinat yang sama

Metode yang keempat adalah *aperture coupling* seperti pada Gambar 2.21 :



Gambar 2.21. Struktur *aperture coupling feed* [4]

Aperture coupling adalah teknik *feeding* yang paling sulit dalam proses fabrikasi dan tergolong *narrow bandwidth*. *Field* dihubungkan dari *microstrip line feed* ke *radiating patch* melalui *hole* atau semacam *slot cut* pada *ground plane*. *Aperture coupling* biasanya diletakkan pada pertengahan di bawah *patch* sehingga *cross polarisasi* dapat dihindari [4].

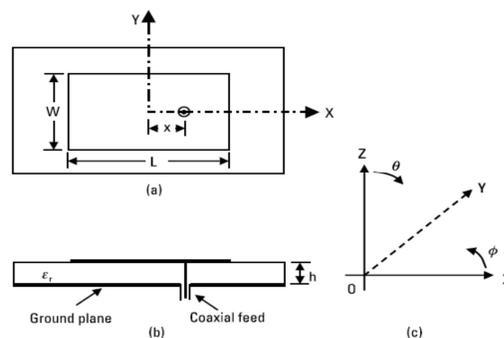
Dari keempat teknik *feeding* di atas, teknik yang dapat menghasilkan *bandwidth* paling lebar adalah *proximity coupling* yaitu sekitar 13% lebih lebar. Akan tetapi kesulitannya adalah pada tahap fabrikasinya. Sedangkan *coaxial probe* mudah dalam proses fabrikasinya dan fleksibel penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching impedansi inputnya*.

2.5.3 Konfigurasi Antena *Microstrip*

Seperti yang disebutkan sebelumnya, keterbatasan dari Antena *Microstrip* adalah lebar pitanya yang kecil. Lebar pita dapat ditentukan dari hubungannya dengan VSWR atau perbedaan impedansi *input* dengan

frekuensi atau berhubungan dengan parameter pancaran. Lebar pita yang besar disebabkan oleh penurunan *quality factor* Q dari *patch resonator*, dimana berkaitan dengan kurangnya energi yang tersimpan di bawah *patch* dan radiasi lebih tinggi. Untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar, bentuk *patch* yang biasa dimodifikasi ke dalam beberapa bentuk Antena *Microstrip*. Berbagai jenis konfigurasi Antena *Microstrip* tersebut yaitu, *Rectangular Microstrip Antenna* (RMSA), *planar multiresonator broadband microstrip antennas*, *multilayer broadband microstrip antennas*, *stacked multiresonator microstrip antennas*, *compact broadband microstrip antennas*, *tunable and dual band microstrip antennas*, dan *broadband circularly polarized microstrip antennas*. [4]

Salah satu bentuk yang sederhana dan banyak digunakan pada konfigurasi Antena *Microstrip* adalah *Rectangular Microstrip Antenna* (RMSA).



Gambar 2.22 A coaxial-feed RMSA : (a) Tampak atas
(b) Tampak samping (c) Sistem koordinat [2]

Rectangular patch ditentukan dengan panjang L dan lebar W . Untuk *microstrip line* yang sederhana, lebarnya lebih kecil daripada panjang gelombang. Bagaimanapun, lebar RMSA sebanding dengan panjang gelombang untuk meningkatkan radiasi dari tepinya. Karena tebal substrat lebih kecil dari panjang gelombang, RMSA dianggap sebagai bentuk *two-dimensional planar* untuk analisis.[2]

Untuk mencari dimensi Antena *Microstrip*, harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang akan digunakan yaitu frekuensi resonansi (f_0), tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), dan dimensi *patch* (W dan L). Panjang Antena *Microstrip* harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka lebar pita akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang lebar pita akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari Antena *Microstrip* (W) impedansi *input* juga akan berubah. Persamaan matematis yang digunakan untuk menentukan dimensi antena tersebut adalah sebagai berikut [2]:

- Tebal substrat minimum

$$h \leq \frac{0,3c}{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \dots \dots \dots (2.20)$$

- Lebar (W) *microstrip patch antenna* diberikan oleh persamaan sebagai berikut,

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r+1)}{2}}} \dots \dots \dots (2.21)$$

- Permittivitas relatif efektif (ϵ_{reff}), dari persamaan diatas memberikan permittivitas relatif efektif sebagai,

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.22)$$

- Panjang *patch* (L) diberikan sebagai,

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan panjang efektif (L_{eff})

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots (2.24)$$

dan panjang tambahan (ΔL)

$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana, $c = 3.10^8$ m/s

f_0 = frekuensi resonansi (Hz)

ϵ_r = permittivitas relatif

ϵ_{reff} = permittivitas relatif efektif

W = lebar *patch* (mm)

h = tinggi substrat (mm)

L = panjang *patch* (mm)

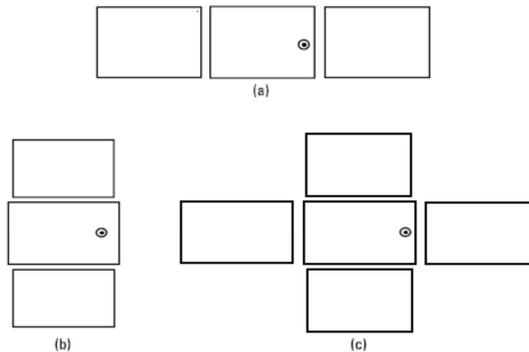
L_{eff} = panjang *efektif patch* (mm)

ΔL = panjang tambahan *patch* (mm)

Lebar pita (*bandwidth*) dari Antena *Microstrip* meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan substrat h atau dengan menurunnya permittivitas relatif (ϵ_r). Bagaimanapun, terdapat keterbatasan pada

praktiknya dengan bertambahnya ketebalan h . Dan jika kenaikan melebihi $0.1\lambda_0$, terjadi propagasi *surface wave* yang menghasilkan penurunan unjuk kerja antenna. Selain itu dengan bertambahnya ketebalan h , induktansi *probe* naik dan teknik penggantian *probe* yang dilakukan akan memperoleh *matching impedance*. Pada praktiknya Antena *Microstrip* dengan lebar pita kira-kira 10% untuk $VSWR \leq 2$ telah didapat dengan menggunakan substrat yang rendah konstanta permitivitas relatif. RMSA dapat dibuat menjadi konfigurasi yang lebih kompleks untuk meningkatkan performansi antenna. Modifikasi antara lain dibuat *planar multiresonator*, *multilayer*, *staked multiresonator*, dan seterusnya [2].

Planar multiple-resonator menggunakan *patch microstrip* untuk operasi jalur lebar (*broadband*). Hanya sebuah *patch* pengumpan dan *patch* lainnya dikopling secara *parasitic*. Kopling antara *multiresonator* telah didapat dengan menggunakan salah satu celah kecil antara *patch* atau langsung terhubung ke *patch* melewati *microstrip line* yang tipis. Berbagai *parasitic patches* seperti *narrow strip*, *shorted quarter-wavelength rectangular patches* dan *rectangular resonator patches* telah dikopling *gap* ke *central-fed rectangular patch*. Beberapa kombinasi dari *gap-coupled rectangular patches* tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 2.23 di bawah ini [2].



Gambar 2.23. Berbagai bentuk *gap-coupled multiresonator* RMSA [2]

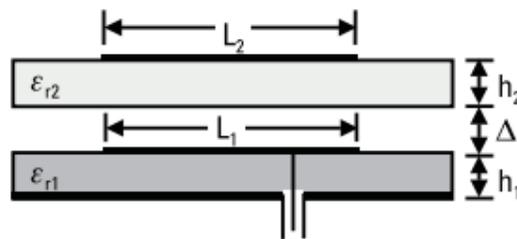
- (a) Tiga RMSA *gap-coupled* sepanjang *radiating edge*
- (b) Tiga RMSA *gap-coupled* sepanjang *non-radiating edge*,
- (c) Lima RMSA *gap-coupled*.

Bentuk *planar multiresonator* ini menghasilkan *broad bandwidth* tetapi memiliki beberapa kelemahan, yaitu :

- Ukuran yang besar, menjadikannya tidak cocok sebagai *array element*.
- Perbedaan dalam pola pancarannya yang melebihi impedansi *bandwidth*.

Multilayer broadband microstrip antenna menggunakan *multiple resonators* untuk meningkatkan lebar pita, tetapi tidak menggunakan teknik *planar-couple* seperti sebelumnya, namun dua atau lebih *patch* pada lapisan berbeda dari substrat dielektrik ditumpuk satu sama lain. Teknik ini menaikkan keseluruhan tinggi antenna tetapi ukuran *planar direction* tetap sama seperti *single-patch antenna*. Sehingga bentuk *multilayer* ini cocok sebagai *array element*. Berdasarkan pada mekanisme

koplingnya, bentuk ini dikategorikan sebagai *Electromagnetically Coupled* MSAs (ECMSAs) atau *Aperture-Coupled* MSAs (ECMSAs). Bentuk *multilayer* MSA ini menghasilkan lebar pita hampir 70% untuk $VSWR \leq 2$ dan perbedaan pola pancarannya lebih dari impedansi *bandwidth* adalah kecil. Konfigurasi *multilayer broadband microstrip antenna* dapat dilihat pada Gambar 2.24 [2] :



Gambar 2.24. *Multilayer Broadband Microstrip Antennas* [2]

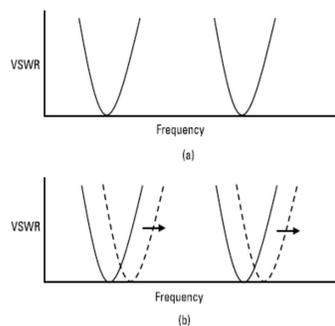
Teknik *stacked multiresonator microstrip antenna* menggabungkan *planar* dan *multiresonator* untuk lebih meningkatkan *bandwidth* dan *gain*. Teknik ini menggunakan beberapa bentuk, *multiple patches* diletakkan di lapisan bawah dan sebuah *single patch* diletakkan di lapisan atas. Sebaliknya bisa juga sebuah *single patch* di lapisan bawah dan *multiple patches* di lapisan atas. *Patch* bawah dapat dibangkitkan dengan *microstrip line* atau *coaxial feed* melalui elektromagnetik atau *aperture coupling*. Metode dari pengaruh eksitasi karakteristik lapisan bawah dan ketidakmantapannya mempengaruhi unjuk kerja dari tumpukan *patch*. [2]

Teknik *compact broadband microstrip antennas* dapat diterapkan pada *personal mobile communication* dan sistem komunikasi kecil yang membutuhkan MSA berukuran kecil pula. Ukuran dari bentuk MSA

konvensional yang beroperasi di *band* frekuensi *Ultra High Frequency* (UHF) cukup besar karena panjang resonansinya *berbanding* terbalik dengan frekuensi. Untuk mendesain antena yang lebih kecil di frekuensi ini, bentuk MSA konvensional seperti *rectangular* dan *circular* perlu dimodifikasi. *Compact* MSA dapat didesain dengan substrat yang memiliki ϵ_r lebih tinggi. Dalam hal ini, ukuran bentuk MSA akan lebih kecil *dibandingkan* dengan substrat yang memiliki ϵ_r rendah pada frekuensi resonansi tertentu, tetapi *bandwidth*-nya kecil.[2]

Teknik *tunable and dual band* MSA banyak diminati dalam berbagai sistem dimana dapat ditala lebih pada jangkauan frekuensi besar. Antena *tunable* ini memberikan pilihan untuk antena lebar pita besar, khususnya ketika lebar pita besar diperlukan untuk mencakup berbagai kanal *narrowband*. Di beberapa aplikasi, sistem harus bekerja di antara dua pita frekuensi yang terpisah jauh. Dalam hal ini digunakan *dual-band* antena daripada *broadband antenna*. Banyak aplikasi seperti *satellite links*, *wireless local network*, *cellular telephones*, *synthetic aperture radars*, dan *radio frequency systems* membutuhkan *dual-frequency antenna*. *Dual-frequency antenna* adalah antena yang beroperasi hanya pada dua daerah frekuensi saja. Dan ketika antena itu beroperasi lebih pada *bandwidth* yang terbatas pada kedua frekuensi, maka itu disebut *dual-band antenna*. *Tunable* dan *dual-band antenna* dapat menggunakan Antena *Microstrip*. Sebuah Antena *Microstrip* boleh dibuat *tunable* dengan menghubungkan beban reaktif variabel (induktif

atau kapasitif) ke *patch*. Reaktansi variabel didapat dengan mengubah panjang dari potongan *stub* kecil yang didempetkan ke Antena *Microstrip* biasa, atau dengan mengubah jumlah atau posisi dari *shorting posts*. Frekuensi resonansi Antena *Microstrip* dapat ditala dengan mengubah *air gap* antara *patch* dan *ground plane*. Ketika dua atau lebih frekuensi resonansi Antena *Microstrip* berdekatan satu sama lainnya, diperoleh karakteristik *broadband*. Dan ketika frekuensi ini terpisah signifikan, diperoleh *dual-band operation*. *Dual-band operation* dapat berada pada frekuensi tetap atau berada pada kedua atau salah satu dari frekuensi yang tertala. Gambar 2.25 menjelaskan *plot* VSWR pada frekuensi yang tetap dan tertala.[2]



Gambar 2.25. *Plot* VSWR pada dua jenis *dual-band operation* :

(a) Tetap (b) Tertala [2]

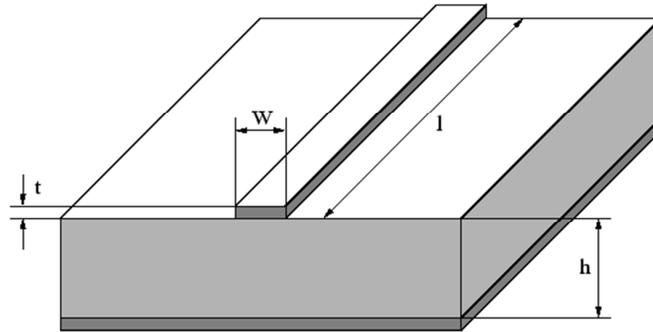
Konfigurasi *broadband circularly polarized microstrip antennas* merupakan Antena *Microstrip* yang menghasilkan *circularly polarized*. Polarisasi lingkaran (*circularly polarized*) berguna dalam radar, sistem komunikasi, dan navigasi. Hal ini dikarenakan oleh orientasi putaran dari *transmitter* dan *receiver* antena tidak penting dalam hubungannya dengan

kuat sinyal yang diterima. Sinyal dengan pancaran yang linier (*linearly polarized*), penerimaannya sangat lemah jika *transmitter* dan *receiver* antenna berada dalam posisi *nearly orthogonal*. Sebaliknya *circularly polarized* menerima polarisasi dari *right-hand* ke *left-hand circularly polarized* dan setelah pemantulan dari objek.[3]

Circularly polarized dihasilkan ketika dua *orthogonal modes* dibangkitkan dalam sebuah *phase quadrature* dengan besar yang sama. Sebuah Antena *Microstrip rectangular* atau *circular* menghasilkan *circularly polarized* jika *feed* pada dua *orthogonal points* dengan amplituda sama dan perbedaan fasa 90° . *Circularly polarized* juga dihasilkan dengan menggunakan sebuah *single-feed* MSA. Bentuk Antena *Microstrip single-feed* termasuk *diagonal feed nearly square*, *corner chopped square*, dan *square with diagonal slot*. Variasi yang sama dimungkinkan untuk Antena *Microstrip circular* dan *triangular*. Polarisasi lingkaran jalur lebar (*broadband circularly polarized*) diperoleh dengan menggunakan Antena *Microstrip dual-feed multiple planar* atau *stacked patched* atau *single-feed* dalam bentuk *sequential rotation array*. [3]

2.5.4. Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi *Microstrip*

Dilihat dari Gambar 2.26, Saluran transmisi mikrostrip terdiri dari konduktor dengan lebar w , ketebalan bahan (h), dan permitivitas efektif relative (ϵ_r). Adapun Impedansi karakteristik saluran transmisi mikrostrip merupakan parameter penting untuk menentukan lebar (w) [3].



Gambar 2.26. *Single Microstrip Line* [3]

Berikut dibawah ini, persamaan impedansi karakteristik dari saluran transmisi *microstrip*. [3]

a. Untuk $w/d < 1$

$$Z_0 = \frac{60}{\epsilon_{eff}} \ln \left(\frac{8d}{w} + \frac{w}{4d} \right) \dots \dots \dots (2.26)$$

b. Untuk $w/d > 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff} \left[\frac{w}{d} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{d} + 1.444 \right) \right]}} \dots \dots \dots (2.27)$$

2.6. Roadmap Penelitian

Penelitian ini bukan merupakan topik baru yang mengangkat hal yang tidak pernah ada sebelumnya melainkan merupakan reka cipta dan inovasi dari beberapa penelitian sebelumnya. Dengan demikian penelitian ini akan memberikan hasil yang lebih optimal dari penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya.

Adapun roadmap penelitian yang terkait dengan topik yang diangkat penulis adalah sebagai berikut:

1. Nugroho Dewi Retri Vianto.

“Analisa dan Rancang Bangun Rangkaian Penguat Pada Sistem Transfer Daya Tanpa Kabel”

Dimana dalam penelitian ini mereka membahas mengenai rancang bangun rangkaian penguat dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel. Disini dirancang suatu rangkaian penguat untuk diaplikasikan dalam sistem dengan tujuan agar dapat menambah jangkauan pengiriman.

2. Helmi Kautsar.

“Analisa dan Rancang Bangun Rangkaian Transmitter Pada Tranfer Daya Listrik Tanpa Kabel.”

Pada penelitian ini dilakukan perancangan untuk menghantarkan tegangan dengan menggunakan teknologi wireless. Metode yang digunakan pada sistem *wireless power transmision* ini adalah induksi resonansi magnetik.

3. Michael Octora

“Analisa dan Rancang Bangun Rangkaian Penerima Pada Sistem Tranfer Daya Listrik Tanpa Kabel”

Disini dibahas mengenai rancang bangun rangkaian penerima pada sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel (*Wireless Energi Transfer*) berdasarkan prinsip induksi resonansi magnetik. Transmisi daya listrik tanpa kabel ini akan sangat berguna apabila

dibutuhkan suatu energi listrik akan tetapi tidak ada kabel disekitar tempat itu.

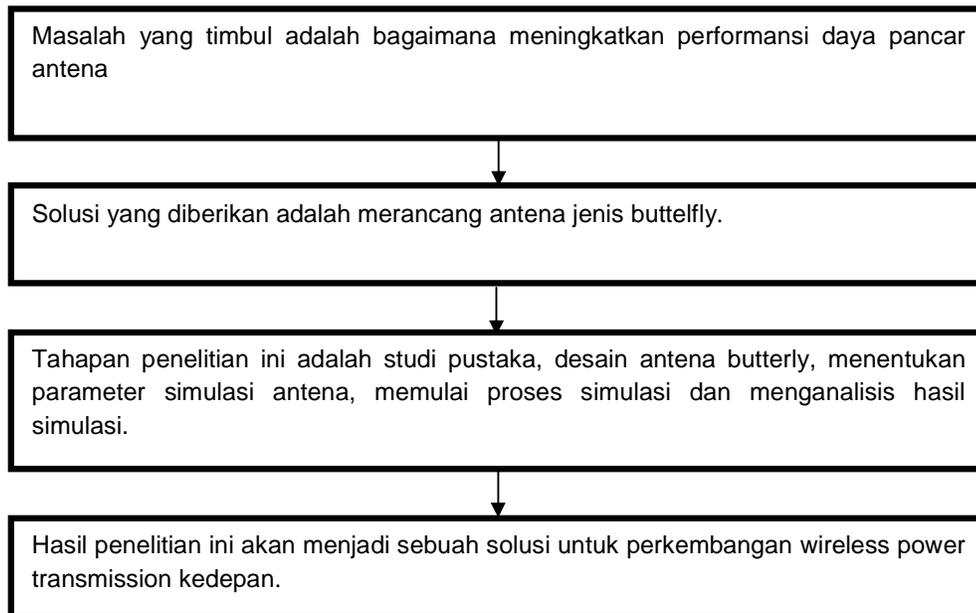
4. Irwan Pambudi, Dr. Rusminto Tjatur Widodo, MT.

“Transmisi Daya Tanpa Kabel (Wireless) untuk Pengisian Baterai Secara Otomatis Dengan Kombinasi Induksi Magnetik Dan Resonansi Pada Sisi Transmitter”

Dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah kombinasi induksi magnetik dan resonansi. Hal ini menyebabkan kondisi pengisian baterai secara aman karena terisolasi secara elektrik antara transmitter daya dengan pengguna.

2.7. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual merupakan sintesa tentang hubungan antar variabel yang disusun dari berbagai teori yang telah dideskripsikan. Kerangka konseptual penelitian rancang bangun sistem transmisi daya nirkabel pada piranti bergerak 2,5 GHZ ini ditunjukkan dalam blok diagram berikut:



Gambar 2.27: Blok Diagram Kerangka Konseptual

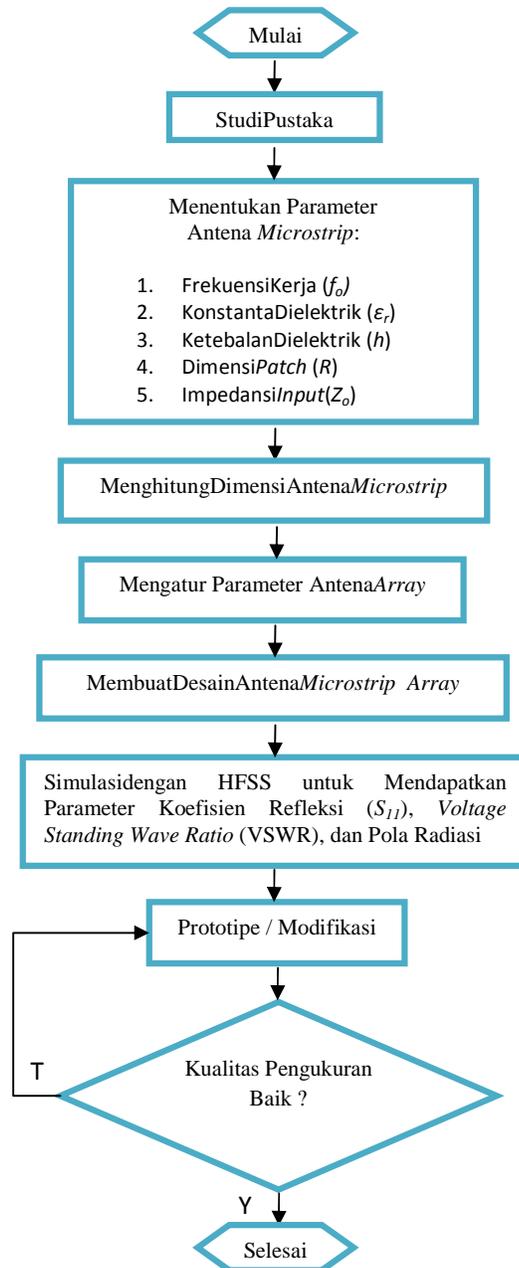
BAB III

PERANCANGAN ANTENNA RECTIFIER

Dalam bab ini akan dibahas mengenai proses perancangan *Butterfly Microstrip Antenna*. Perancangan ini menggunakan *software High Frequency Structural Simulator (HFSS) v13* untuk perancangan serta simulasi dari desain antena tersebut.

Untuk pembuatan *layout* dari komponen RF digunakan *software Corel Draw X4*. Selain itu akan dibuat prototype dari komponen RF agar dapat dilakukan pengujian secara langsung untuk membandingkan antara hasil secara simulasi dengan hasil dari pengukuran prototype yang dibuat.

Berikut *framework* perancangan komponen RF pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Framework* perancangan komponen RF

Dari gambar *framework* di atas terlihat bagaimana kerangka kerja dari perancangan komponen pasif RF yang akan dibuat. Dimana dalam perancangan ini yang pertama kali dilakukan adalah studi pustaka untuk mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan perancangan komponen pasif RF. Kemudian menentukan parameter-parameter dari komponen pasif RF hingga perancangan secara simulasi dengan menggunakan *software* HFSS v13 dan Agilent ADS 2011.01. Kemudian masuk ke dalam tahapan pembuatan prototipe dari komponen pasif RF dengan menggunakan bahan FR4 Epoxy. Setelah prototipe selesai dibuat maka dilakukan pengukuran komponen pasif RF.

3.1. Spesifikasi dan Perancangan *Butterfly Antenna* 2.5 GHz

Butterfly Antenna yang akan dirancang ini berfungsi sebagai antena untuk *Wireless Network Sensor*. Perancangan *Butterfly Antenna* akan melewati tiga tahap utama. Pertama, menentukan spesifikasi dan dimensi desain Antena *Butterfly Microstrip Array*. Kedua adalah perancangan dengan *software* Ansoft HFSS v.13 hingga diperoleh hasil yang diharapkan. Ketiga adalah proses pembuatan prototype untuk menguji keberhasilan perancangan.

Mengapa menggunakan *Butterfly Antenna*? Alasannya karena ciri khas didaerah sini identik dengan kupu-kupu. Ada suatu ciri khas tersendiri yang diangkat sebagai icon daerah ini.

3.2. Perancangan awal *Butterfly Microstrip Antenna*

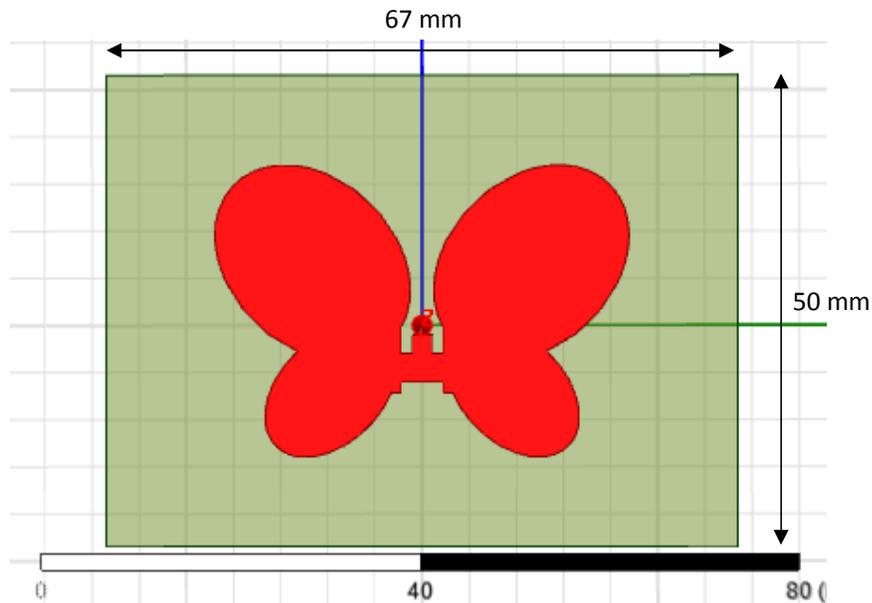
Parameter penting dalam mendesain antenna *microstrip*, yaitu [3]:

- Frekuensi operasi (f_0) : Frekuensi resonansi dari antenna adalah 2,5 GHz.
- Permittivitas relatif (ϵ_r) : Bahan dielektrik yang dipakai dalam desain ini adalah FR4-Epoxy yang memiliki $\epsilon_r = 4.4$. Pemilihan bahan substrat ini berdasarkan kemudahan memperolehnya, karena sering digunakan untuk produksi massal produk-produk consumer elektronik. Sedangkan untuk *patch* dan *ground plane* menggunakan *Perfect Electric Conductor* (PEC) dengan $\epsilon_r = 1$.
- Tebal substrat dielektrik (h) : Bahan substrat dielektrik yang digunakan memiliki ketebalan 1.6 mm. Alasan pemilihan dimensi ini adalah karena banyak tersedia di pasaran sehingga lebih mudah diperoleh.
- Dimensi *patch* (a) : *Patch* terbentuk dari beberapa bentuk *patch* yang di-substrate. Dimensi patch diperoleh dari hasil perhitungan matematis sesuai dengan rumus perhitungan jari-jari *antenna circular patch*. Kemudian dilakukan langkah modifikasi untuk memperoleh hasil yang optimal.
- Impedansi : Impedansi *Input* yang digunakan dalam perancangan Antena *Microstrip* ini sebesar 50Ω .

Berdasarkan perancangan yang dilakukan untuk desain awal dihasilkan dimensi untuk *Butterfly Antenna* seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Dimensi awal *Butterfly Antenna* 2,5 GHz

Struktur	Permitivitas Relatif	Frekuensi Kerja (GHz)	DimensiAntena(mm)	
			Lebar	Panjang
<i>Patch</i>	1	2,5	31 mm	44 mm
<i>Substrate</i>	4.4		50 mm	67 mm



Gambar 3.2. Desain awal *Butterfly Antenna*

Namun desain ini masih kurang optimal dimana *bandwith* yang diperoleh masih sangat kecil sehingga dilakukan optimasi untuk memperbaiki kualitas dan performansi dari desain awal yang dirancang.

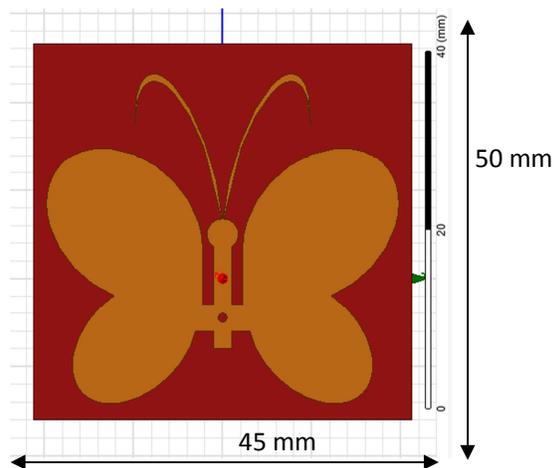
3.3 Optimasi *Butterfly Antenna*

Karena hasil simulasi desain awal *antenna* yang kurang memuaskan, maka dilakukan modifikasi dimensi dengan tetap mengacu pada perbandingan dimensi dari desain awal. Modifikasi dilakukan dengan mengubah-ubah dimensi maupun menambahkan beberapa patch

tambahan secara *trial and error*, sehingga diperoleh model akhir dari desain seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Dimensi *Butterfly Antenna* 2,5 GHz

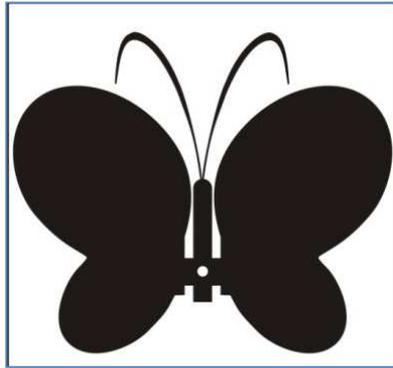
Struktur	Permitivitas Relatif	Frekuensi Kerja (GHz)	Dimensi Antena(mm)	
			Lebar	Panjang
<i>Patch</i>	1	2,5	37,5 mm	40 mm
<i>Substrate</i>	4.4		42,5 mm	42,5 mm



Gambar 3.3. Desain optimasi *Butterfly Antenna*

3.4. Perancangan *Layout*

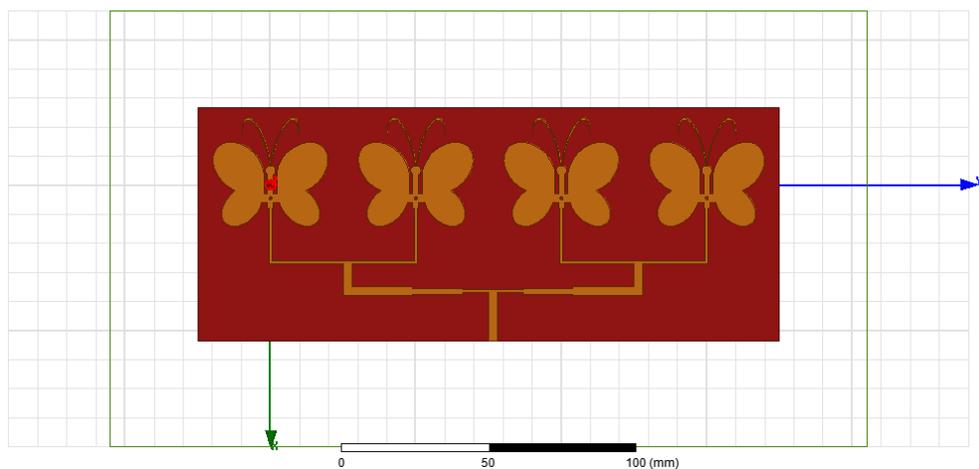
Software yang digunakan dalam perancangan *layout Butterfly Antenna* ini adalah Corel Draw X4, adapun gambar *layout Butterfly Antenna* seperti terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 .*Layout Butterfly Antenna* dengan Corel draw X4

3.5. Perancangan awal Antena *Butterfly Microstrip Array*

Setelah diperoleh spesifikasi akhir pada Tabel 3.3, maka selanjutnya dilakukan perancangan desain Antena *Butterfly Microstrip Array* pada *software* Ansoft HFSS v13. Antena *Butterfly Microstrip Array* ini menggunakan material FR4-Epoxy dengan $\epsilon_r = 4.4$ dan tebal dielektrik substratnya $h = 1.6$ mm, untuk *patch* dan *ground plane* menggunakan PEC (*Perfect Electric Conductor*). Struktur desain dari spesifikasi yang disebutkan di atas dapat dilihat pada Gambar 3.5 :



Gambar 3.5. Struktur desain awal Antena *Butterfly Microstrip Array*

Berdasarkan Gambar 3.5 dapat dilihat terdapat sebuah Antena *Microstrip Array* berbentuk *butterfly*. Antena *Microstrip* ini merupakan potongan (*patch*) logam yang biasanya terbuat dari tembaga yang dicetak tipis pada dasar dielektrik yang ditanahkan. *Patch* sebagai pelat yang meradiasikan daya dari sebuah *dielectric* dengan ketebalan *h*. *Ground plane* dan *patch* dihubungkan oleh sebuah *center conductor* yang biasanya terbuat dari bahan tembaga. Teknik *feeding* yang digunakan dalam perancangan ini adalah *coaxial probe* dengan *center conductor* ditempatkan di ujung Antena *Butterfly Microstrip Array*.

Setelah disimulasikan, ternyata memiliki hasil yang kurang optimal ditinjau dari Axial Ratio di atas 3dB. Oleh karena itu, modifikasi dilakukan dengan memberikan pertubasi (gangguan) pada patch serta dilakukan pencatuan ganda yang saling tegak lurus atau memiliki beda fasa 90° antara yang satu dengan yang lainnya.

3.5.1. Perancangan Akhir Antena *Butterfly Microstrip Array*

Hal yang penting dalam mendesain sebuah Antena *Microstrip Array* adalah sebagai berikut:

- Jarak antar elemen *microstrip*. Jarak antar elemen dipilih yaitu sebesar $\lambda/8$. Jarak tersebut dipilih karena untuk mengurangi efek dari *grating lobe*.
- Panjang *feeder* yang dipilih adalah $\lambda/4$ dan $\lambda/2$.

- Konfigurasi *Feeder Array* yang digunakan adalah *parallel feed array*. Konfigurasi ini menggunakan *power splitter* yang berfungsi membagi daya untuk impedansi 50 Ω pada *feeder*.
- Lebar *feeder* antara elemen adalah 0.7 mm. Lebar *feeder* untuk Antena *Microstrip Array* adalah 3 mm. Kedua lebar *feeder* ini diperoleh dari hasil *software* PCAAD

Dengan asumsi awal penggunaan konfigurasi $\lambda/4$ *impedance transformer lines* yang menyesuaikan impedansi *feeder* elemen 100 Ω dengan *feeder* antena 50 Ω , dilakukan perancangan desain dengan merujuk pada *software* PCAAD. Berdasarkan *Software* tersebut, diperoleh lebar *feeder* elemen = 1 mm dan lebar *feeder* antenna = 3 mm. Panjang *feeder* elemen adalah $\lambda/8 = 20$ mm. Hasil perhitungan matematis diperoleh tabel seperti Tabel 3.3. Dan diperoleh gambar 3.6.

Tabel 3.3. Dimensi akhir Antena *Microstrip Array*

Struktur	Jumlah	Dimensi Antena (mm)			Keterangan
		Panjang	Lebar	Tinggi/ Ketebalan	
<i>Dielectric Material:</i> Epoxy (FR4)	1	2000	800	1.6	
<i>Patch</i>	4	40	37,5	0.036	Jarak Antar Elemen: 20 mm
<i>Ground Plane</i>	1	2000	800	0.036	
<i>Feeder :</i>					
50 Ohm	7	27,86	3	0.036	
70 Ohm	2	17	2	0.036	
100 Ohm	5	16,3	1	0.036	

3.6. Perancangan Prototipe Komponen RF

Berdasarkan hasil perancangan pada *software* Ansoft HFSS v13, maka dibuat prototipe komponen-komponen RF. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada perancangan prototype ini adalah :

- Pengukuran dilakukan bukan di dalam ruangan yang bebas interferensi (*anechoic chamber*) sehingga pengaruh interferensi tidak dapat dihindari pada saat melakukan pengujian kinerja prototipe.
- Komponen RF diukur menggunakan Agilent *Network Analyzer* 5017C.
- Untuk Antena *Microstrip* menggunakan *Antenna Trainer System* ED-3200 sebagai *main controller*-nya.

Bahan dan alat yang digunakan untuk proses pembuatan prototype adalah sebagai berikut meliputi PCB FR4-Epoxy *double layer*, tinta sablon, *software* Corel Draw Graphics Suite X4, SMA *Connector*, timah, *Ferrite Chloride* / pelarut PCB, alatbor, dan solder.

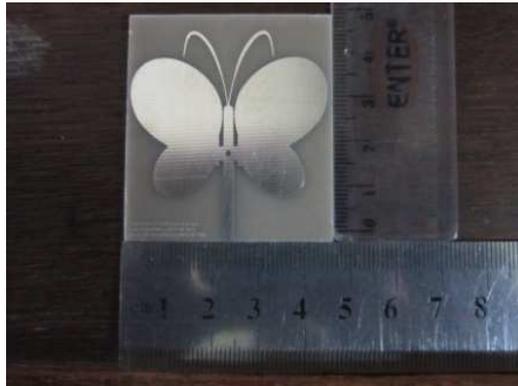
Desain yang diperoleh berdasarkan hasil perancangan pada *software* Ansoft HFSS v13 dan Agilent ADS 2011.01 selanjutnya dibuat *layout* pada *Printed circuit board* (PCB). Adapun tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Membuat model *patch* sesuai desain yang telah dibuat pada HFSS v13 dan Agilent ADS 2011.01 pada *software* Corel Draw Graphics SuiteX4.

- Men-sablon PCB sesuai model yang telah dibuat dengan menggunakan *software Corel Draw Graphics SuiteX4*.
- Mengeringkan PCB yang telah disablon.

Setelah hasil sablon didapatkan, maka dilakukan tahap pembuatan prototipe. Tahap-tahap yang dilakukan dalam pembuatan prototype Komponen RF ini sebagai berikut :

- Melarutkan *Ferrite Chloride* dengan menggunakan air panas dalam suatu wadah.
- Merendam desain yang telah tersablon dalam larutan tersebut selama ± 15 menit hingga daerah yang tidak tersablon terangkat.
- Mengangkat PCB dari larutan kemudian mencucinya dengan air hangat. Selanjutnya, menggosok bagian PCB yang tersablon dengan menggunakan ampelas halus.
- Melubangi *feed* pada bagian yang telah ditentukan untuk masukan *SMA Connector* dengan menggunakan bor berdiameter 2 mm.
- Memasukkan *SMA Connector* pada lubang yang telah dibuat pada PCB, kemudian menyolder bagian atas dan bawah PCB untuk dilekatkan dengan *SMA Connector*. Hasilnya seperti pada Gambar 3.6 berikut :



Gambar 3.6. Prototipe *Butterfly Antenna: Edge Feeding*

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA

WIRELESS POWER TRANSMISSION (WPT)

Untuk menilai unjuk kerja keberhasilan perancangan komponen RF, perlu ditinjau dua buah parameter. Parameter tersebut adalah koefisien refleksi (S_{11}), dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Sedangkan dalam pengukuran dan evaluasi kerja dari antena ada beberapa parameter tambahan selain dua parameter yang kita ukur pada pengukuran komponen RF lainnya. Parameter tersebut antara lain adalah pola radiasi berdasarkan sudut pandang dua dimensi (2D) dan pola radiasi berdasarkan sudut pandang tiga dimensi (3D) serta keterarahan (*directivity*).

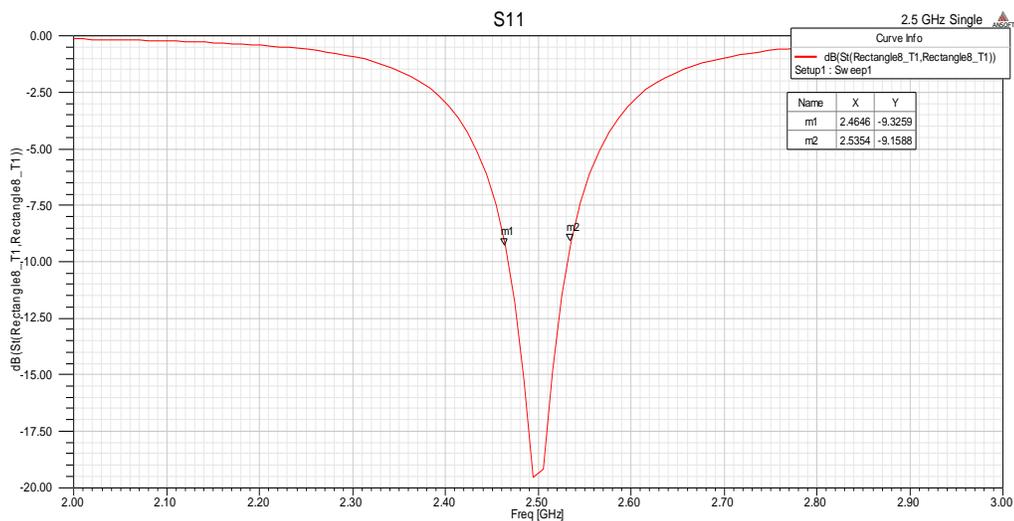
4.1 Simulasi Rancangan Akhir Antena *Butterfly Microstrip Single*

Secara umum dalam perancangan antena ini, unjuk kerja antena hasil simulasi ditinjau dari 3 parameter, antara lain:

- Koefisien Refleksi (S_{11})
- Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)
- Pola Radiasi

Nilai S_{11} dan VSWR menunjukkan kemampuan antenna yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Antena dianggap bekerja dengan baik pada frekuensi tertentu jika S_{11} menunjukkan nilai di bawah -10 dB dan VSWR di bawah 2. Sementara, karakteristik polarisasi melingkar dari antenna dapat diketahui dari unjuk kerja dengan nilai axial ratio ≥ 3 dB. Dengan desain awal perancangan antenna diperoleh hasil simulasi karakteristik dan unjuk kerja antenna sebagai berikut:

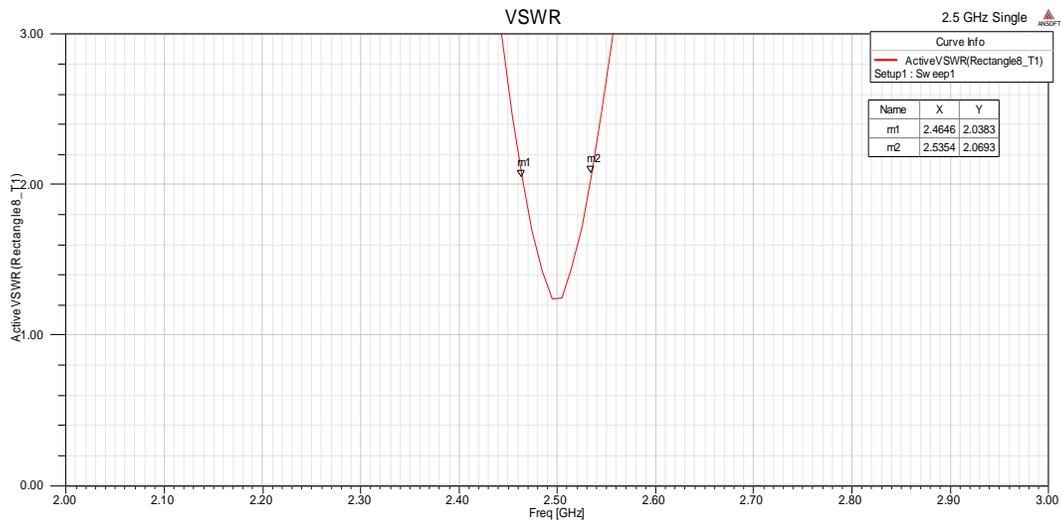
4.1.1 Koefisien Refleksi (S_{11})



Gambar 4.1 Plot S_{11} Simulasi hasil akhir Antena Microstrip Single

Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi akhir dari antenna Microstrip Single yang merupakan hasil modifikasi bentuk patch. Dapat diperhatikan bahwa koefisien refleksi (S_{11}) sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dengan acuan -10 dB, antenna ini bekerja pada frekuensi 2.5 GHz dengan lebar pita 2.46 GHz hingga 2.53 GHz.

4.1.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



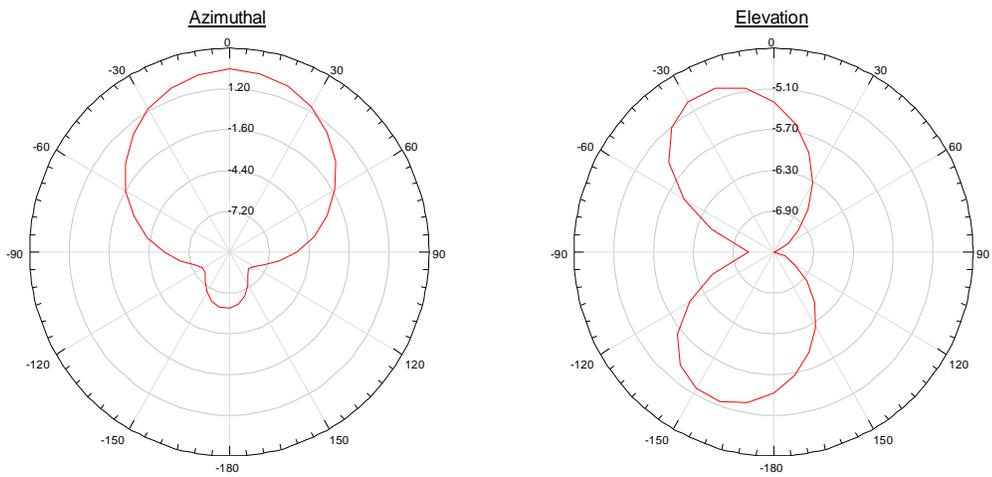
Gambar 4.2 Plot VSWR Simulasi Akhir Antena Microstrip Single

Nilai VSWR yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menunjukkan unjuk kerja yang memenuhi standar antenna bekerja dengan baik pada frekuensi 2.5 GHz dengan nilai ≤ 2 dB.

4.1.3 Pola Radiasi Dimensi

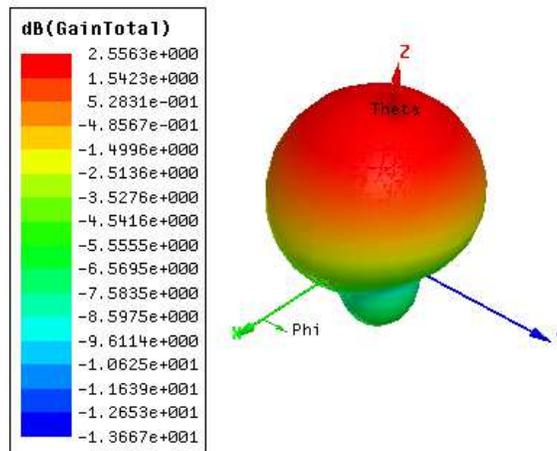
Pada Gambar 4.3 diperlihatkan pola radiasi dari dimensi akhir Antena Butterfly *Microstrip Single*. Terdapat sebuah *main lobe*, diperoleh pancaran maksimum untuk *main lobe* ($\phi_1 = 65^\circ$) sebesar 0.5643 dB. Juga terdapat sebuah *back lobe* pada sudut $\phi_2 = 225^\circ$ pada nilai 2.1185 dB.

Pola radiasi dalam dua dimensi diperlihatkan pada Gambar 4.3(a) dan Gambar 4.3 (b). dan dalam 3 dimensi diperlihatkan pada Gambar 4.4.



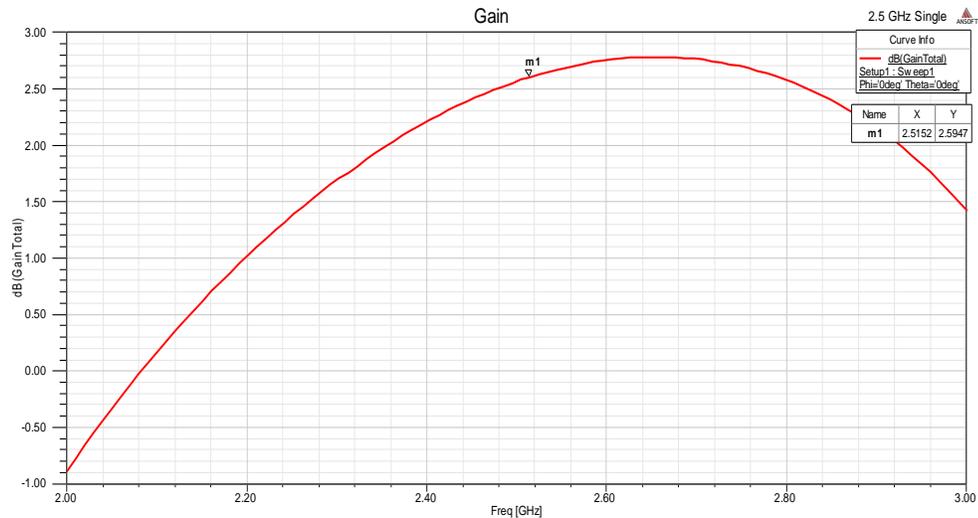
Gambar 4.3 Pola radiasi dua dimensi untuk Antena *Microstrip Single*

(a) Pola Azimuthal (b) Pola Elevation



Gambar 4.4. Pola radiasi tiga dimensi untuk Antena *Microstrip Array*

4.1.5. Gain



Gambar 4.5. Plot Gain Simulasi Akhir Antena Microstrip Single

Gain pada plot di atas menentukan performansi penguatan sebesar 2,5 dB dari antenna hasil perancangan pada frekuensi 2.5 GHz.

4.2 Simulasi Rancangan Akhir Antena *Butterfly Microstrip Array*

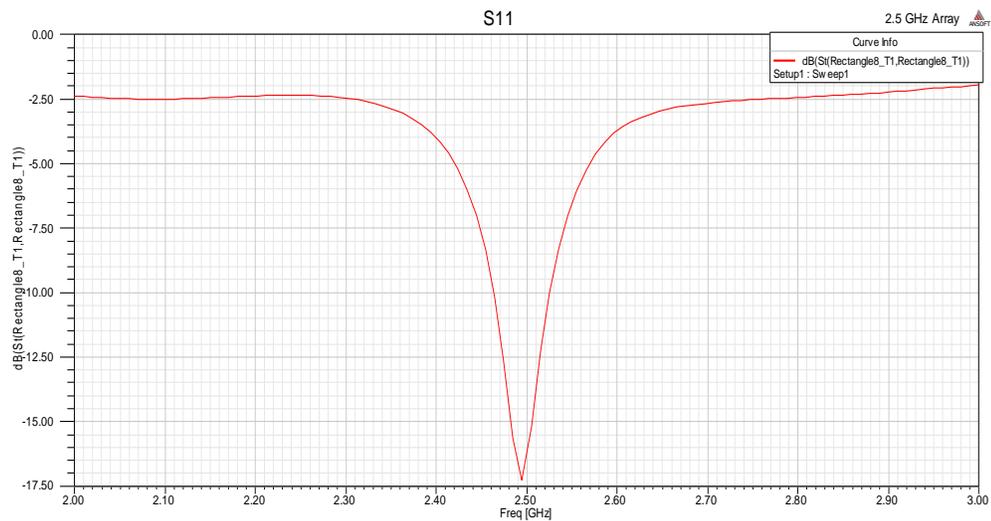
Secara umum dalam perancangan antenna ini, unjuk kerja antenna hasil simulasi ditinjau dari 3 parameter, antara lain:

- Koefisien Refleksi (S_{11})
- Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)
- Pola Radiasi

Nilai S_{11} dan VSWR menunjukkan kemampuan antenna yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Antenna dianggap bekerja dengan baik pada frekuensi tertentu jika S_{11} menunjukkan nilai di bawah -10 dB dan VSWR di bawah 2. Sementara, karakteristik polarisasi melingkar dari antenna dapat diketahui dari unjuk kerja dengan nilai axial

ratio ≥ 3 dB. Dengan desain awal perancangan antenna diperoleh hasil simulasi karakteristik dan unjuk kerja antenna sebagai berikut:

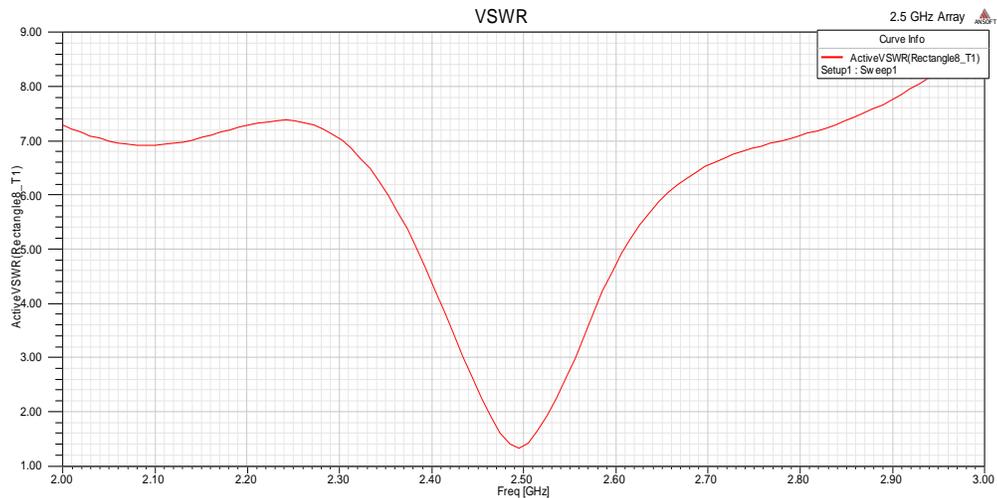
4.2.1 Koefisien Refleksi (S_{11})



Gambar 4.6. Plot S11 Simulasi hasil akhir Antena Microstrip Array

Gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi akhir dari antenna Microstrip Array yang merupakan hasil modifikasi bentuk patch. Dapat diperhatikan bahwa koefisien refleksi (S_{11}) sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dengan acuan -10 dB, antenna ini bekerja pada frekuensi 2.5 GHz dengan lebar pita 2.45 GHz hingga 2.54 GHz.

4.2.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



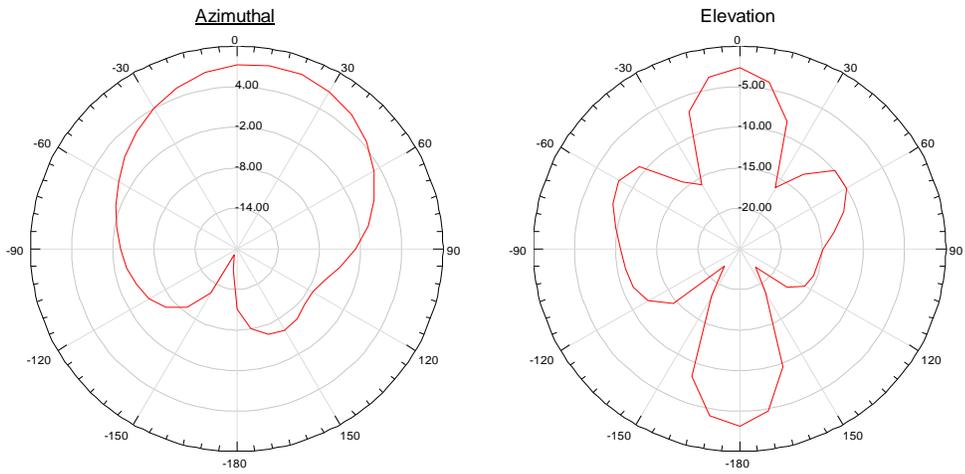
Gambar 4.7. Plot VSWR Simulasi Akhir Antena Microstrip Array

Nilai VSWR yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 menunjukkan unjuk kerja yang memenuhi standar antenna bekerja dengan baik pada frekuensi 2.5 GHz dengan nilai ≤ 2 dB.

4.2.3 Pola Radiasi Dimensi

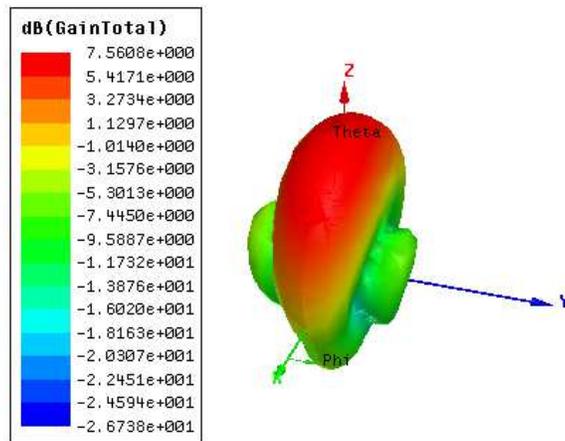
Pada Gambar 4.8 diperlihatkan pola radiasi dari dimensi akhir Antena Butterfly *Microstrip Array*. Terdapat sebuah *main lobe*, diperoleh pancaran maksimum untuk *main lobe* ($\phi_1 = 65^\circ$) sebesar 0.5643 dB. Juga terdapat sebuah *back lobe* pada sudut $\phi_2 = 225^\circ$ pada nilai 2.1185 dB.

Pola radiasi dalam dua dimensi diperlihatkan pada Gambar 4.8 (a) dan Gambar 4.8 (b). dan dalam 3 dimensi diperlihatkan pada Gambar 4.9.



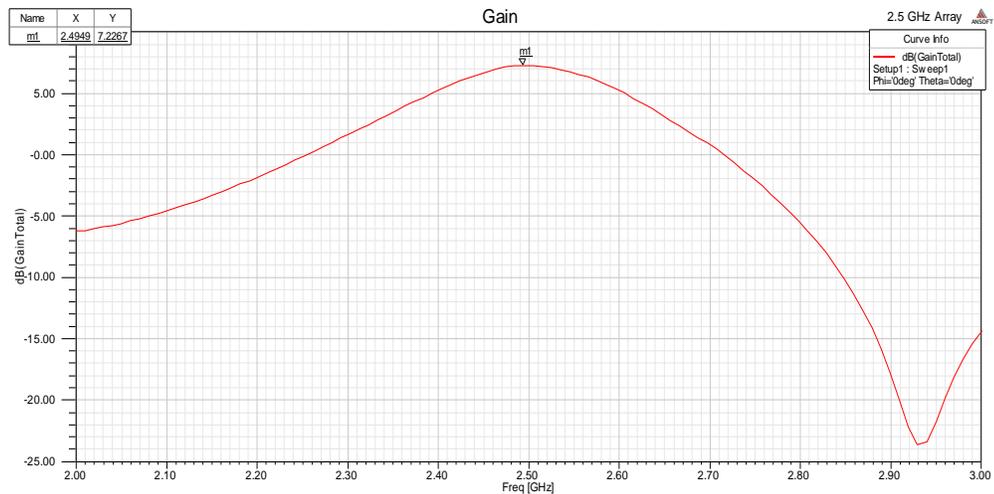
Gambar 4.8 Pola radiasi dua dimensi untuk Antena *Microstrip Array*

(a) Pola Azimuthal (b) Pola Elevation



Gambar 4.9 Pola radiasi tiga dimensi untuk Antena *Microstrip Array*

4.2.4. Gain



Gambar 4.10. Plot Gain Simulasi Akhir Antena Microstrip Array

Gain pada plot di atas menentukan performansi penguatan sebesar 8 dB dari antenna hasil perancangan pada frekuensi 2.5 GHz.

4.3. Hasil Pengukuran Prototipe Antena Butterfly Microstrip

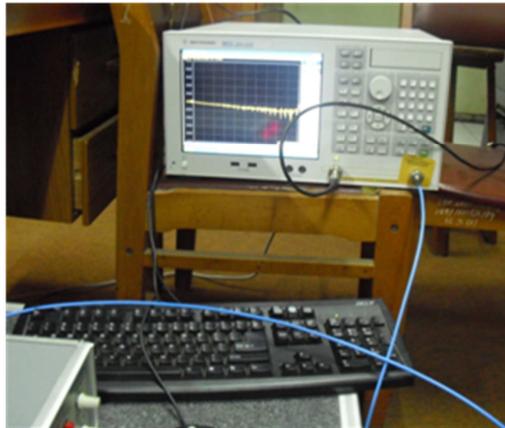
Selanjutnya dilakukan pengujian protipe untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan dan pembuatan protipe antenna tersebut. Pada pengujian ini, ada beberapa parameter yang akan diuji yaitu koefisien refleksi, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), dan pola radiasi pada pengujian antenna. Pola radiasi ini akan memberikan analisa perhitungan besarnya penguatan (*gain*) dari antenna.

Pengujian parameter komponen RF ini menggunakan *Virtual Network Analyzer 5017C*. Dimana pertama-tama *Virtual Network Analyzer* dikalibrasi untuk keadaan *open circuit*, *short circuit*, dan *load*. Kemudian dilakukan pengaturan untuk mengukur koefisien refleksi, VSWR, dan

respon fasa dari komponen RF. Sedangkan untuk pengukuran pola radiasi, prototipe antenna bertindak sebagai *receiver* dan *transmitter*.

Pada pengukuran pola radiasi ini, *receiver* dan *transmitter* diletakkan dengan jarak ($R = \frac{2D^2}{\lambda}$). Selanjutnya antenna *receiver* dirotasi 360° dan kemudian diukur daya penerimaan antenna yang terbaca pada *Virtual Network Analyzer* dengan kenaikan 1°. Hasil dari pengukuran ini kemudian diolah pada *software* HFSS v13 untuk mendapatkan pola radiasi dari antenna.

Pengujian dilakukan menggunakan *Virtual Network Analyzer* 5017C dan *Antena Training System* ED-3200 yang diperlihatkan pada Gambar 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.11 *Virtual Network Analyzer* 5017C



(a) Antena Trainer ED-3200

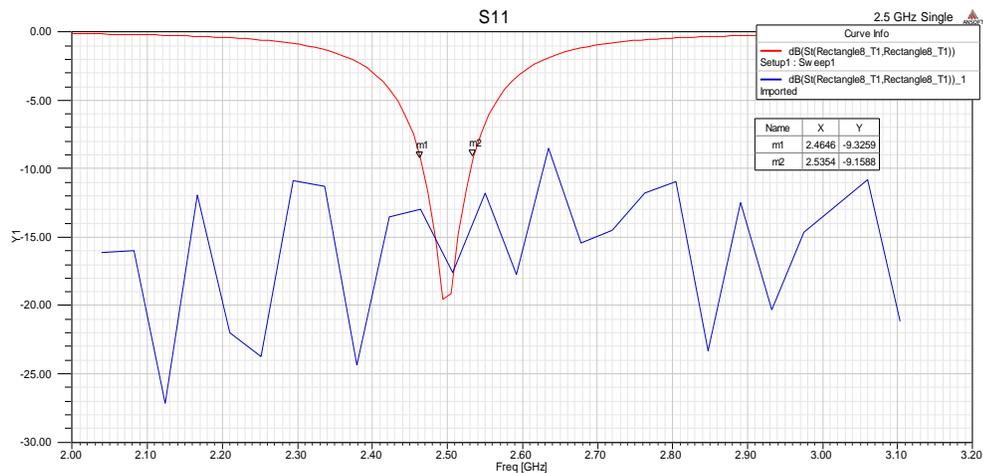


(b) Main Controller

Gambar 4.12 (a) dan (b) Set Antena Trainer ED-3200

4.3.1 Pengukuran Prototipe Butterfly Microstrip Single Antena

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan *Virtual Network Analyzer 5017C*, untuk frekuensi kerja Butterfly single Antena yaitu pada frekuensi 2,5 GHz didapatkan hasil koefisien refleksi S_{11} seperti yang terlihat pada gambar 4.13

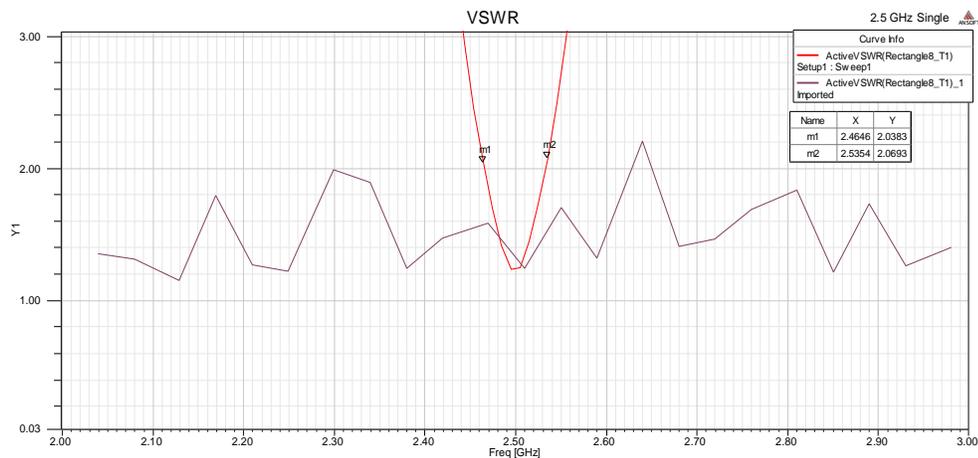


Gambar 4.13. Koefisien Refleksi S_{11} Untuk Single Antena

Dari hasil pengukuran S_{11} butterfly single antena dengan menggunakan *Virtual Network Analyzer 5017C* terlihat sudah memperoleh

nilai yang baik yaitu -17 dB, dan tidak terjadi sedikit pergeseran frekuensi yang berada pada frekuensi 2,5 GHz.

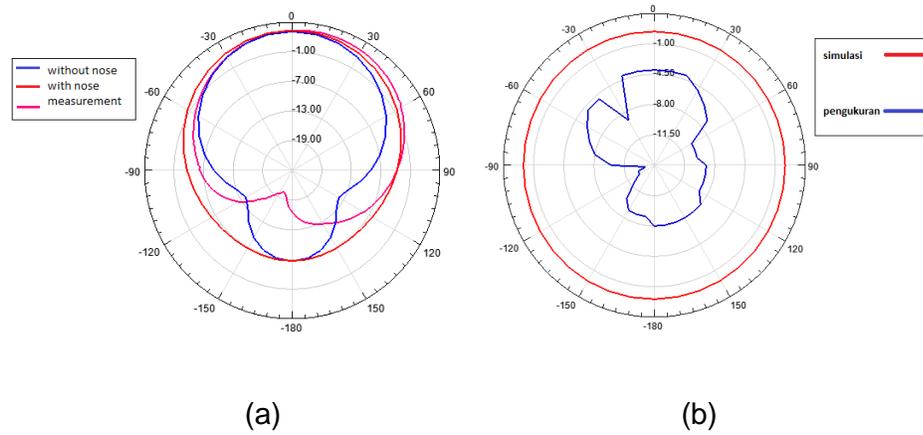
Adapun hasil pengukuran VSWR *Butterfly single antena* dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Hasil pengukuran VSWR Butterfly Single Antena

Pada hasil pengukuran VSWR juga telah diperoleh hasil yang cukup baik yaitu pada 1,24 sehingga memiliki kemiripan pada hasil simulasi yaitu pada 1,2475.

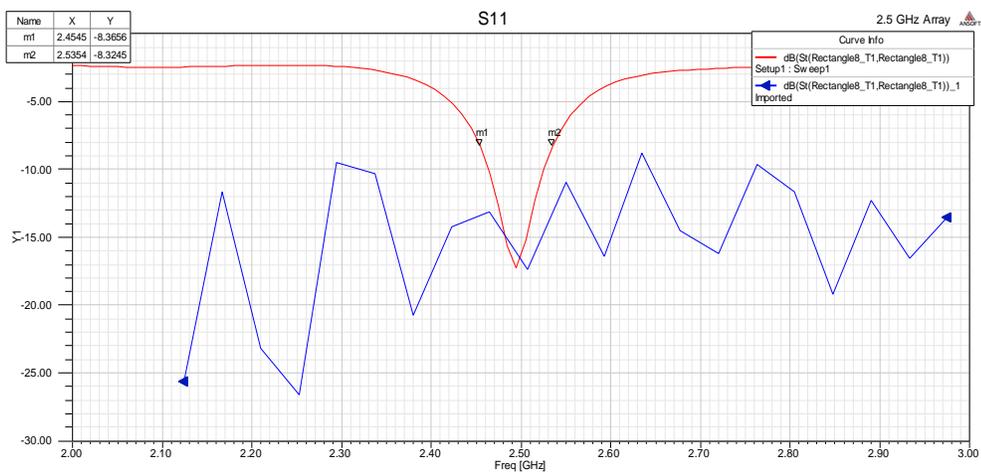
Untuk pengukuran pola radiasi dari *Butterfly Antena* seperti diperlihatkan pada Gambar 4.15. Pengukuran pola radiasi untuk *Butterfly Antena* ini dilakukan dengan melakukan pengukuran daya penerimaan dari *Butterfly Antena* dengan *step* 1° .



Gambar 4.15. Pola radiasi *Butterfly Antena* : (a) Azimuthal (b) Elevasi

4.3.2. Pengukuran Prototipe *Butterfly Microstrip Array Antena*

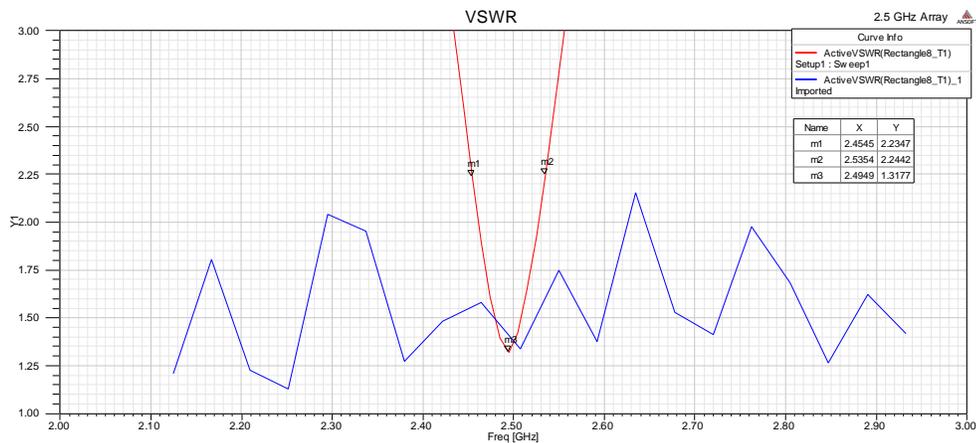
Dari hasil pengukuran dengan menggunakan *Virtual Network Analyzer* 5017C, untuk frekuensi kerja *Butterfly Array Antena* yaitu pada frekuensi 2,5 GHz didapatkan hasil koefisien refleksi S_{11} seperti yang terlihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Koefisien Refleksi S_{11} *Butterfly Antena*

Dari hasil pengukuran S_{11} butterfly antenna dengan menggunakan *Virtual Network Analyzer 5017C* terlihat sudah memperoleh nilai yang baik yaitu -17.4 dB, akan tetapi terjadi sedikit pergeseran frekuensi yang awalnya berada pada frekuensi 2,5 GHz menjadi 2,51 GHz.

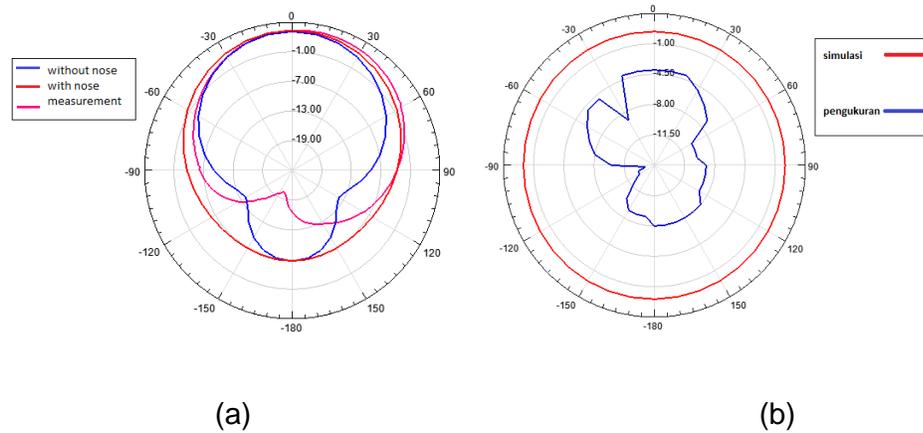
Adapun hasil pengukuran VSWR *Butterfly antenna* dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17. Hasil pengukuran VSWR Butterfly Antena

Pada hasil pengukuran VSWR juga telah diperoleh hasil yang cukup baik yaitu pada 1,33 walaupun terjadi sedikit perbedaan pada hasil simulasi yaitu pada 1,31.

Untuk pengukuran pola radiasi dari *Butterfly Antena* seperti diperlihatkan pada Gambar 4.18. Pengukuran pola radiasi untuk *Butterfly Antena* ini dilakukan dengan melakukan pengukuran daya penerimaan dari *Butterfly Antena* dengan *step 1°*.



Gambar 4.18. Pola radiasi *Butterfly Antena* : (a) Azimuthal (b) Elevasi

4.4. Pengujian dan Analisis

Peralatan yang digunakan untuk mengukur kekuatan signal dan tegangan pada antena:

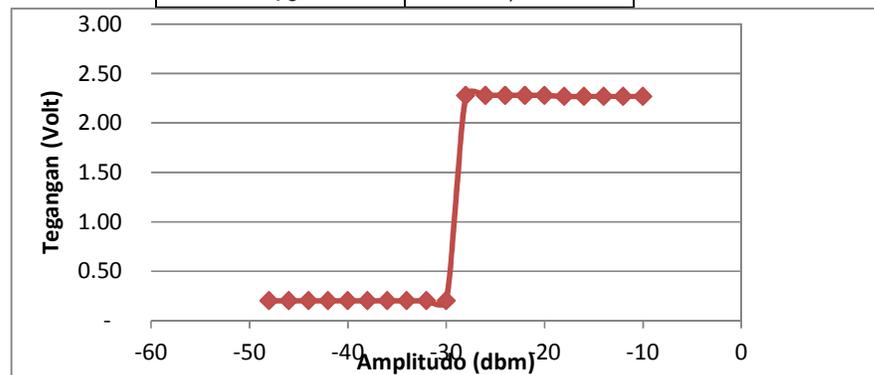
- Vektor signal generator N5182A
- Adaptor Dc 12 Volt
- Avometer Digital : tegangan dc (volt)
- Rangkaian Sinyal ke Dc (volt)

1. Pengukuran Langsung dari Vektor Generator ke rangkaian sinyal ke dc.

Tabel 4.1. Pengukuran langsung generator ke rangkaian

Amplitudo (dBm)	Tegangan (volt)
-48	0,20
-46	0,20
-44	0,20
-42	0,20
-40	0,20
-38	0,20
-36	0,20

-34	0,20
-32	0,20
-30	0,20
-28	2,28
-26	2,28
-24	2,28
-22	2,28
-20	2,28
-18	2,27
-16	2,27
-14	2,27
-12	2,27
-10	2,27



Gambar 4.19. Amplitudo terhadap tegangan

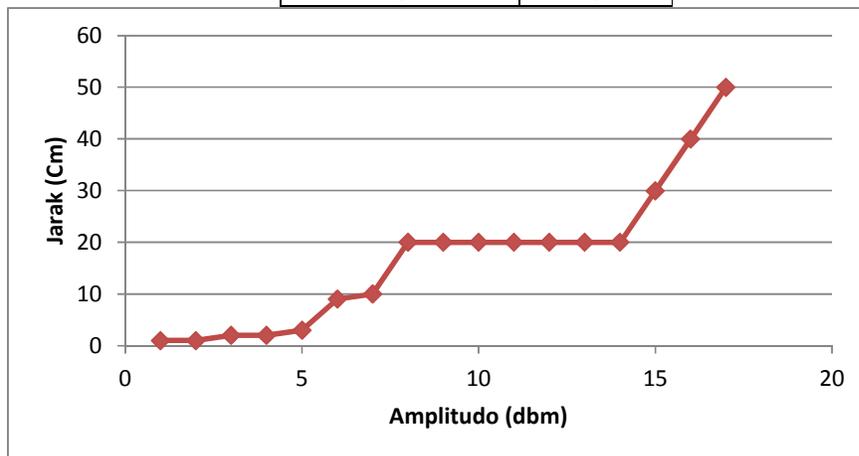
Pada pengukuran langsung dengan menggunakan vektor sinyal generator ini terlihat pada -28 dBm terdapat tegangan sebesar 2,8 volt sampai pada -20 dBm, dan terjadi sedikit penurunan tegangan mulai -18 dBm sampai -10 dBm yaitu 2,7 volt seperti terlihat dalam grafik diatas (gambar 4.19). Artinya disini terlihat lampu indikator LED mulai menyala.

2. Pengukuran dari Tx single ke Rx array Antena

a. Pengukuran Jarak (cm) terhadap Amplitudo (dBm)

Tabel 4.2. Amplitudo terhadap jarak

Amplitudo (dBm)	jarak (cm)
17	50
16	40
15	30
14	20
13	20
12	20
11	20
10	20
9	20
8	20
7	10
6	9
5	3
4	2
3	2
2	1
1	1

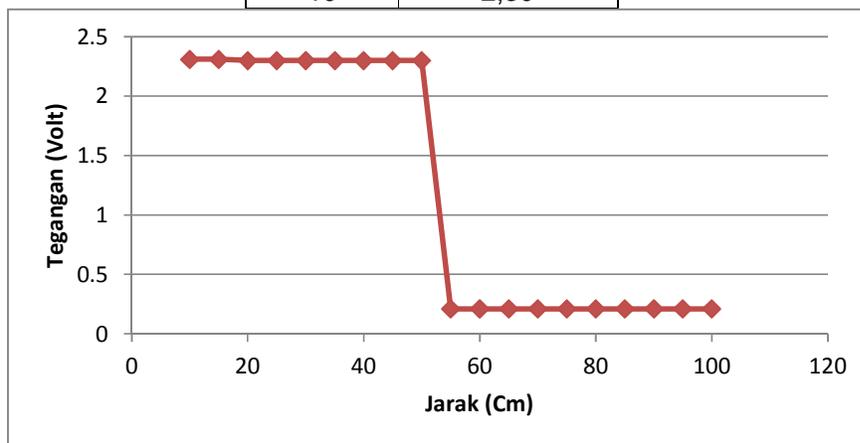


Gambar 4.20. Amplitudo terhadap jarak

b. Pengukuran jarak (cm) terhadap tegangan (volt)

Tabel 4.3. Pengukuran jarak terhadap tegangan

jarak (cm)	tegangan (volt)
100	0,21
95	0,21
90	0,21
85	0,21
80	0,21
75	0,21
70	0,21
65	0,21
60	0,21
55	0,21
50	2,28
45	2,30
40	2,30
35	2,30
30	2,30
25	2,30
20	2,30
15	2,30
10	2,30



Gambar 4.21. Pengukuran jarak terhadap tegangan

Untuk pengukuran Tx single ke Rx array antenna pada jarak 50 cm terdapat kenaikan tegangan dari sebelumnya 0,21 Volt menjadi 2,28 Volt. Artinya pada saat itu lampu mulai menyala dengan kekuatan amplitudo

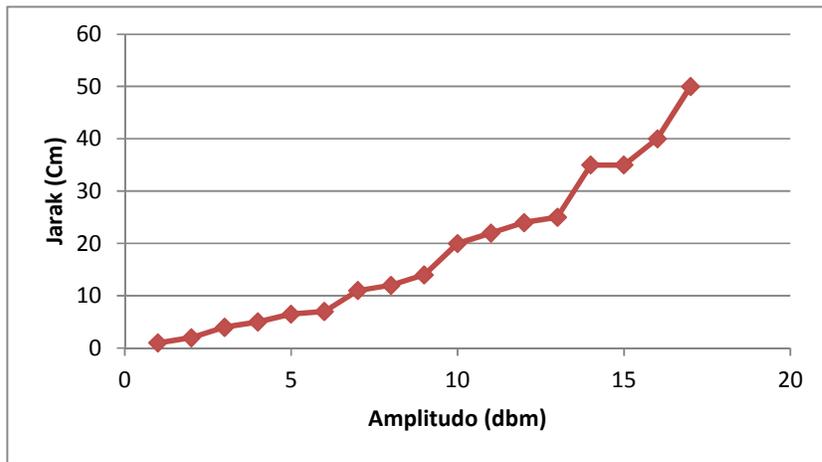
sebesar 17 dBm. Dan pada jarak 45 cm sampai 10 cm terjadi kenaikan tegangan sebesar 2,3 Volt. Ini disebabkan karena jarak antar antenna pemancar (Tx) dengan antenna penerima (Rx) makin dekat. Pada posisi antenna diatas 51 cm maka lampu akan padam (gambar 4.21)

3. Pengukuran dari Tx array ke Rx single antenna

a. Pengukuran Jarak (cm) terhadap kekuatan sinyal (dBm)

Tabel 4.4. Jarak terhadap Amplitudo

Amplitudo(dBm)	jarak (cm)
17	50
16	40
15	35
14	35
13	25
12	24
11	22
10	20
9	14
8	12
7	11
6	7
5	6
4	5
3	4
2	2
1	1

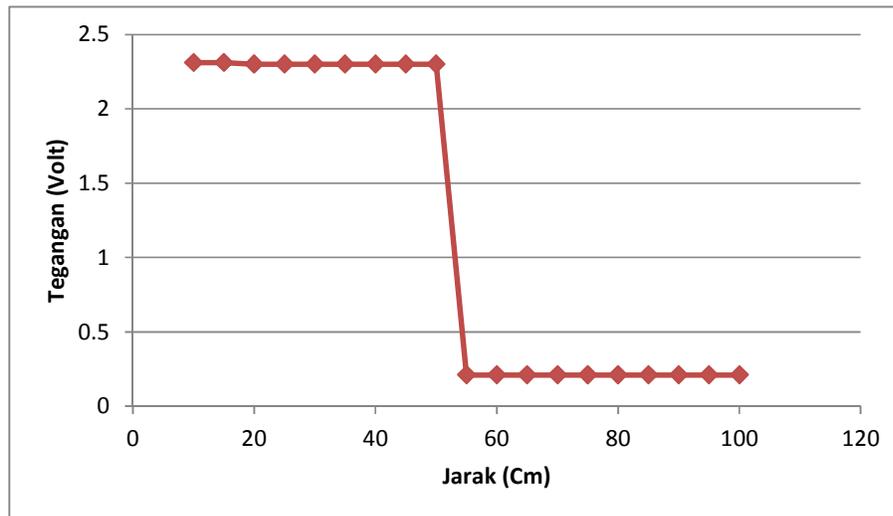


Gambar 4.22. Jarak terhadap Amplitudo (Tx array)

b. Pengukuran jarak (cm) terhadap tegangan (volt)

Tabel 4.5. Jarak terhadap tegangan

jarak (cm)	tegangan (volt)
100	0,21
95	0,21
90	0,21
85	0,21
80	0,21
75	0,21
70	0,21
65	0,21
60	0,21
55	0,21
50	2,30
45	2,30
40	2,30
35	2,30
30	2,30
25	2,30
20	2,30
15	2,31
10	2,31



Gambar 4.23. Jarak terhadap tegangan

Pada pengukuran antenna Tx Array ke Rx Single, pada jarak 50 cm terjadi lonjakan tegangan dari 0,21 volt ke 2,3 volt dengan kekuatan sinyal sebesar 17 dBm sampai pada jarak 20 cm dengan kekuatan sebesar 10 dBm. Selanjutnya pada pada jarak 15 cm hingga 10 cm menjadi 2,31 volt dengan kekuatan sinyal sebesar 10 dBm sampai 7 dBm (gambar 4.23). Pada jarak – jarak tersebut lampu LED terlihat mulai menyala. Diatas jarak 51 cm maka lampu akan padam. Sama dengan pada pengukuran antenna single ke array terjadinya lonjakan tegangan pada jarak 15 cm dan 10 cm adalah karena makin dekatnya jarak antenna pemancar dengan antenna penerima.

Hampir tidak ada perbedaan antara menggunakan antenna tipe single dengan antenna tipe array dalam pengukuran ini jika dilihat sepintas. Namun saat dilakukan pengukuran pada posisi single antenna menjadi pemancar dan array antenna menjadi receiver terlihat dalam grafik terjadi

kenaikan secara linier pada posisi 1 –10 cm dengan kekuatan sinyal sebesar 7 dBm. Kemudian pada jarak 20 cm sinyalnya bervariasi antara 8 – 14 dBm dan selanjutnya menjadi 15-17 dBm pada jarak 30 – 50 cm.

Sedangkan pada pengukuran dengan posisi antena array sebagai pemancar dan single antena sebagai receiver terjadi kenaikan hampir linier dari jarak 1 cm hingga 50 cm. Itu artinya antena array dapat memancarkan sinyal secara merata keseluruhan bidang antena receiver yang menjadi target sehingga terjadi kenaikan secara linier di semua posisi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang bisa ditarik dari hasil penelitian ini ialah :

1. Band frekuensi Butterfly Antenna yang didapatkan terletak antara 2,45 GHz- 2,54 GHz sedangkan frekuensi resonansi yaitu pada 2,5 GHz.
2. Hasil simulasi perancangan antenna dengan software Ansoft HFSS v13 menunjukkan nilai S11 dibawah -10 dB dan VSWR untuk kedua jenis antenna baik yg single maupun array dibawah 2 telah memenuhi standar ideal. Sementara, karakteristik polarisasi melingkar dari antenna dapat diketahui dari unjuk kerja dengan nilai axial ratio ≥ 3 dB.
3. Pada hasil pengukuran VSWR juga telah diperoleh hasil yang cukup baik yaitu pada 1,33, walaupun terjadi sedikit perbedaan dengan hasil simulasi yaitu pada 1,31 artinya masih memenuhi standar ideal.
4. Hasil pengukuran S₁₁ butterfly antenna dengan menggunakan *Virtual Network Analyzer 5017C* terlihat sudah memperoleh nilai yang baik yaitu -17.4 dB artinya terjadi sedikit pergeseran frekuensi dari 2,5 GHz menjadi 2,51 GHz.

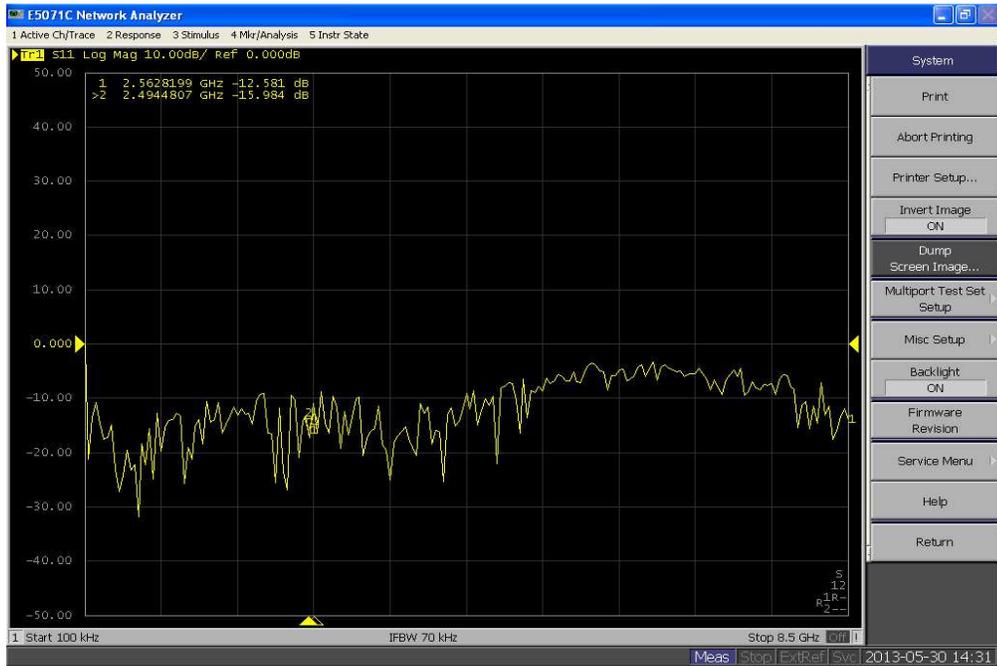
5. Pada pengukuran langsung dengan menggunakan vektor sinyal generator ini terlihat pada -28 dBm terdapat tegangan sebesar 2,8 volt sampai pada -20 dBm, dan terjadi sedikit penurunan tegangan mulai -18 dBm sampai -10 dBm yaitu 2,7 volt seperti terlihat dalam grafik diatas. Artinya disini terlihat lampu indikator LED mulai menyala.
6. Untuk pengukuran Tx single ke Rx array antenna pada jarak 50 cm terdapat kenaikan tegangan dari sebelumnya 0,21 Volt menjadi 2,28 Volt. Artinya pada saat itu lampu mulai menyala dengan kekuatan amplitudo sebesar 17 dBm. Dan pada jarak 45 cm sampai 10 cm terjadi kenaikan tegangan sebesar 2,3 Volt. Ini disebabkan karena jarak antar antenna pemancar (Tx) dengan antenna penerima (Rx) makin dekat. Pada posisi antenna diatas 51 cm maka lampu akan padam.
7. Pada pengukuran antenna Tx Array ke Rx Single, pada jarak 50 cm terjadi lonjakan tegangan dari 0,21 volt ke 2,3 volt dengan kekuatan sinyal sebesar 17 dBm sampai pada jarak 20 cm dengan kekuatan sebesar 10 dBm. Selanjutnya pada pada jarak 15 cm hingga 10 cm menjadi 2,31 volt dengan kekuatan sinyal sebesar 10 dBm sampai 7 dBm. Pada jarak – jarak tersebut lampu LED terlihat mulai menyala. Diatas jarak 51cm maka lampu akan padam. Sama dengan pada pengukuran antenna single ke array terjadinya

lonjakan tegangan pada jarak 15 cm dan 10 cm adalah karena makin dekatnya jarak antena pemancar dengan antena penerima.

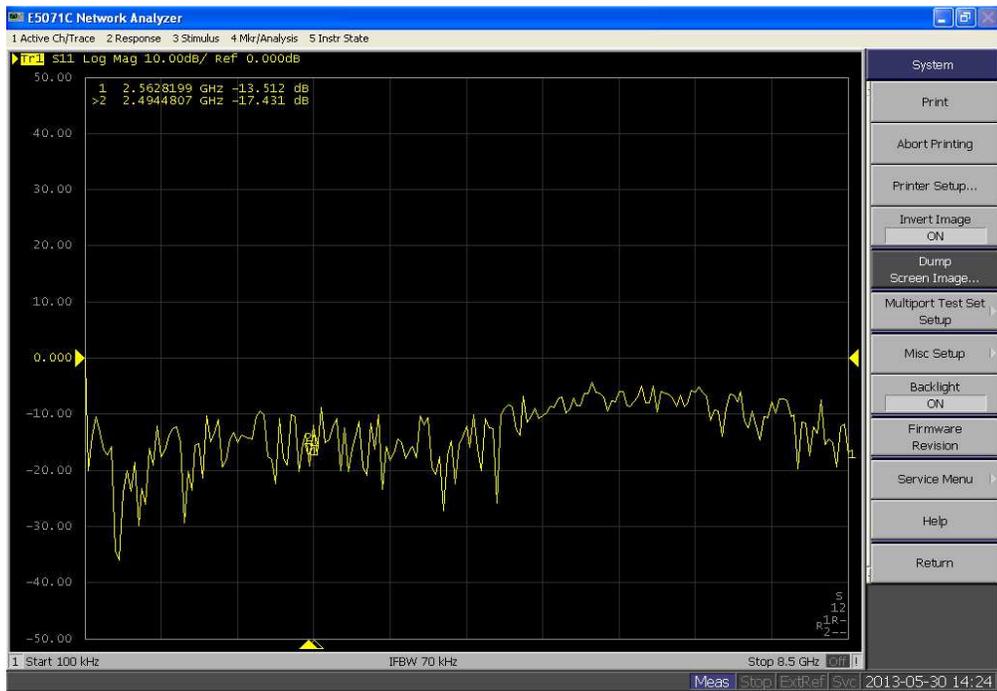
8. Rancang bangun rangkaian penerima dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini telah berhasil menunjukkan suatu perbaikan dalam hal jarak terhadap tegangan.
9. Penggunaan rangkaian penguat dapat digunakan untuk menambah jangkauan dari *Wireless Power Transmission*.

5.2. Saran

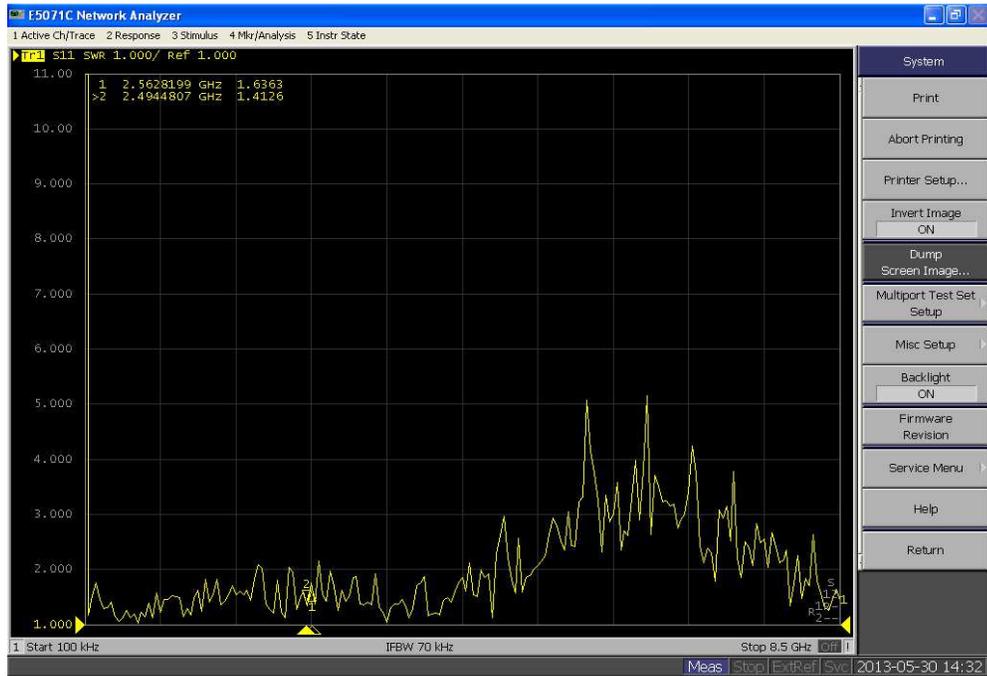
1. Sebaiknya desain komponen dibuat semirip mungkin dengan bentuk prototipe yang akan dibuat agar hasil pengukuran yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi.
2. Sebaiknya dapat dikembangkan ke wireless medical implant.
3. Masih perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai *wireless power transmission*.



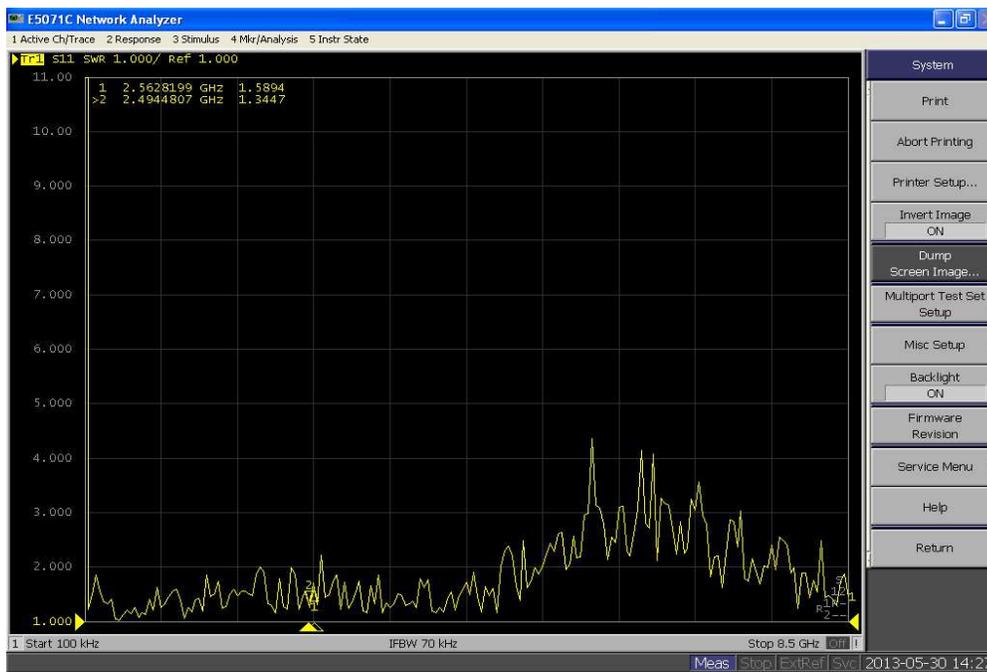
Pengukuran S_{11} Antena Array



Pengukuran S_{11} Antena Single



Pengukuran VSWR Antena Single



Pengukuran VSWR Antena Array



Percobaan Antena terhubung langsung dengan vektor signal generator



Percobaan dengan menggunakan antena array



Percobaan dengan menggunakan antena single

