



TUGAS AKHIR - EE184801

**RANCANG BANGUN *METAMATERIAL*
ABSORBER PITA LEBAR DENGAN
BANDWIDTH ENHANCEMENT UNTUK
ANECHOIC CHAMBER PADA FREKUENSI
S-BAND**

Achmad Fauzi Insani
NRP 0711154000003

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, S.T.,M.T.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Rancang Bangun *Metamaterial Absorber* Pita Lebar dengan *Bandwidth Enhancement* untuk *Anechoic Chamber* pada Frekuensi S-Band**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019



Achmad Fauzi Insani
NRP. 0711154000003

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

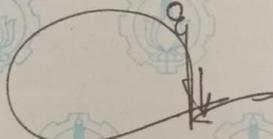
**Rancang Bangun *Metamaterial Absorber* Pita Lebar dengan
Bandwidth Enhancement untuk *Anechoic Chamber* pada
Frekuensi S-Band**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP : 197210012003121002



Halaman ini sengaja dikosongkan

Rancang Bangun *Metamaterial Absorber* Pita Lebar dengan *Bandwidth Enhancement* untuk *Anechoic Chamber* pada frekuensi S-Band

Nama Mahasiswa : Achmad Fauzi Insani

Dosen Pembimbing : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D

Abstrak

Penelitian mengenai antena mengalami perkembangan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Untuk mendapatkan performa antena yang baik, perlu dilakukan pengujian dan pengukuran terhadap antena tersebut. Pengujian antena memerlukan kondisi khusus dan untuk memenuhi kondisi tersebut umumnya pengukuran dan pengujian dilakukan dalam ruangan khusus yang disebut *anechoic chamber*. Namun keberadaan ruang tersebut masih sangat sedikit, bahkan dalam institusi dan lembaga penelitian sekalipun. Hal ini dikarenakan biaya pembuatannya yang cukup mahal. Solusi yang ditawarkan adalah menggunakan *metamaterial absorber* (MMA) sebagai pengganti bahan penyusun *anechoic chamber*. Namun MMA umumnya memiliki pita yang sempit sehingga hanya bekerja optimal pada frekuensi tertentu.

Metode desain yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode studi parameter. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik parameter *metamaterial absorber*. Selanjutnya, *bandwidth enhancement* dilakukan melalui metode desain simetris silang.

Dari studi parameter tersebut dapat diperoleh frekuensi kerja *metamaterial absorber* yang diinginkan, yaitu pada frekuensi S-Band. *Bandwidth enhancement* dapat dilakukan dengan simetris silang. Dengan pengulangan secara periodik, menghasilkan *bandwidth* yang semakin lebar, mencakup seluruh S-Band, bahkan Band frekuensi setelahnya, dengan hasil pengukuran menghasilkan nilai *absorptivity* diatas 80%.

Kata kunci: *Anechoic Chamber, Metamaterial Absorber, Bandwidth Enhancement*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Design of Wideband Metamaterial Absorber with Bandwidth Enhancement for Anechoic Chamber in S-Band Frequency

Student Name : Achmad Fauzi Insani
Advisor : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D

Antenna research has experienced rapid development in recent years. To get better performance for antenna, test and measurement needs to be done. Antenna test and measurement require special conditions and to fulfill that condition, generally measurements are made inside the special room that called anechoic chamber. But the existence of these rooms is very small, even in the institutions. This is because the manufacture costs are quite expensive. The solution offered is to use metamaterial absorber instead of the anechoic chamber constituent. But the metamaterial absorber generally has a narrow band so that it only works optimally at certain frequencies.

The design method used in this final project is the parameter study method. This is done to determine the characteristics of the metamaterial absorber. Furthermore, bandwidth enhancement is done through cross symmetrical design.

From the study of parameters it can be obtained the desired metamaterial absorber working frequency in S-Band frequency. Bandwidth enhancement can be done with cross symmetry. With periodic repetitions, resulting in wider bandwidth, covering all S-Band, even frequency band afterwards. With the measurement results resulting in an absorptivity value above 80%.

Keywords: *Anechoic Chamber, Metamaterial Absorber, Bandwidth Enhancement*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia dan rahmatNya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Rancang Bangun *Metamaterial Absorber Pita Lebar* dengan *Bandwidth Enhancement* untuk *Anechoic Chamber* pada Frekuensi S-Band”**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 Teknik Elektro pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta motivasi.
2. Bapak dosen pembimbing yang selalu dengan sabar memberi arahan.
3. Bapak/Ibu dosen Telekomunikasi Multimedia yang telah memberikan nasihat dalam pengerjaan tugas akhir ini
4. Teman-teman yang memberi semangat serta motivasi.

Saya sebagai penulis masih banyak kekurangan dalam penulisan buku tugas akhir ini. Besar harapan penulis buku ini dapat bermanfaat untuk penulisa dan pembaca. Semoga buku ini dapat menjadi acuan untuk penelitian berikutnya.

Surabaya, 18 Desember 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Isi

Abstrak	vii
Kata Pengantar	xxi
Bab 1_Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi	4
Bab 2_Teori Penunjang.....	5
2.1 Antena	5
2.2 <i>Anechoic chamber</i>	14
2.3 <i>Metamaterial absorber</i>	18
2.4 <i>Scattering parameter</i>	22
2.5 <i>Band frequency</i>	23
Bab 3_Metodologi.....	25
3.1 Alur Perancangan	25
3.2 Setting Pada CST	28
3.3 Desain.....	32
Bab 4Analisa	57
4.1 Simulasi <i>Metamaterial Absorber</i>	57
Bab 5_Penutup	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran.....	87

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Gambar

Gambar 1. FishBone Tugas Akhir.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. Prinsip kerja antenna .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. Jenis Antena	6
Gambar 4. Jenis Antena	7
Gambar 5. Jenis Antena	7
Gambar 6. Pola radiasi antenna.....	8
Gambar 7. Pola radiasi antenna.....	8
Gambar 8. Field region.....	9
Gambar 9. Efek pantulan pada propagasi.....	11
Gambar 10. Pengaruh kekasaran permukaan	12
Gambar 11. Difraksi gelombang	12
Gambar 12. Line of Sight.....	13
Gambar 13. Anechoic chamber	14
Gambar 14. Metode pengukuran pada anechoic chamber.....	15
Gambar 15. Pyramidal absorber.....	17
Gambar 16. Karakteristik medan pada anechoic chamber	18
Gambar 17. Contoh desain metamaterial absorber	20
Gambar 18. Performa absorber berdasarkan contoh desain ...	21
Gambar 19. Karakteristik metamaterial absorber berdasar contoh desain.....	21
Gambar 20. Desain simetris dan performanya	22
Gambar 21. Two port network	23
Gambar 22. Flowchart tugas akhir	25
Gambar 23. Susunan layer metamaterial absorber	27
Gambar 24. Jendela awal CST	29
Gambar 25. Frequency setting	29
Gambar 26. Boundary condition	30
Gambar 27. Konfigurasi Far-field	30
Gambar 28. Set-up Port.....	31
Gambar 29. Pengaturan frekuensi	31

Gambar 30. Parameter sweep	32
Gambar 31. Desain unit cell 1	33
Gambar 32. Variasi r1 unit cell 1	34
Gambar 33. Variasi r2 unit cell 1	35
Gambar 34. Variasi r1 & r2 unit cell 1	36
Gambar 35. Layer metamaterial absorber	37
Gambar 36. Desain unit cell 2	38
Gambar 37. Variasi gap.....	40
Gambar 38. Unit cell 3	41
Gambar 39. Variasi r1 unit cell 3	42
Gambar 40. Variasi r2 unit cell 3	43
Gambar 41. Variasi r3 unit cell 3	44
Gambar 42. Variasi r4 unit cell 3	45
Gambar 43. Variasi r1 & r2 unit cell 3.....	46
Gambar 44. Variasi r3 & r4 unit cell 3.....	47
Gambar 45. Unit cell 3 dengan gap	48
Gambar 46. Desain periodik 1	48
Gambar 47. Desain periodik 2.....	49
Gambar 48. Desain periodik 3.....	50
Gambar 49. Desain periodik 4.....	51
Gambar 50. Desain periodik 5.....	52
Gambar 51. Unit cell 1	57
Gambar 52. S_{11} Parameter unit cell 1	58
Gambar 53. S_{11} Parameter variasi r1 unit cell 1	58
Gambar 54. Variasi r1 & r2 unit cell 1	59
Gambar 55. Variasi r2 unit cell 1	59
Gambar 56. Variasi r1 unit cell 1	59
Gambar 57. S_{11} Parameter variasi r2 unit cell 1.....	60
Gambar 58. S_{11} Parameter variasi r1 & r2 unit cell 1	60
Gambar 59. Layer metamaterial absorber	61
Gambar 60. S_{11} Parameter variasi substrat.....	62
Gambar 61. S_{11} Parameter variasi patch	62

Gambar 62. ring dengan gap	63
Gambar 63. S_{11} Parameter ring dengan gap.....	63
Gambar 64. Variasi gap.....	64
Gambar 65. S_{11} Parameter variasi lebar gap	65
Gambar 66. S_{11} Parameter variasi sudut rotasi gap.....	65
Gambar 67. Unit cell 3	66
Gambar 68. S_{11} Parameter unit cell 3	66
Gambar 69. Variasi r_2 unit cell 3	67
Gambar 70. Variasi r_1 unit cell 3	67
Gambar 71. S_{11} Parameter variasi r_2 unit cell 3.....	68
Gambar 72. S_{11} Parameter variasi r_1 unit cell 3.....	68
Gambar 73. Variasi r_4 unit cell 3	69
Gambar 74. Variasi r_1 & r_2 unit cell 3.....	69
Gambar 75. Variasi r_3 unit cell 3	69
Gambar 76. S_{11} Parameter variasi r_1 & r_2 unit cell 3	70
Gambar 77. S_{11} Parameter variasi r_3 unit cell 3	70
Gambar 78. Unit cell 3 dengan gap.....	71
Gambar 79. Variasi r_3 & r_4 unit cell 3.....	71
Gambar 80. S_{11} Parameter variasi r_3 & r_4 unit cell 3	72
Gambar 81. S_{11} Parameter variasi r_4 unit cell 3.....	72
Gambar 82. S_{11} Parameter penambahan gap unit cell 3.....	73
Gambar 83. Desain periodik 1	74
Gambar 84. Desain periodik 2.....	74
Gambar 85. Desain periodik 3... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 86. Desain periodik 4... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 87. Desain final / periodik 5	Error! Bookmark not defined.
Gambar 88. S_{11} Parameter desain periodik 1	77
Gambar 89. S_{11} Parameter desain periodik 2	77
Gambar 90. S_{11} Parameter desain periodik 3	78
Gambar 91. S_{11} Parameter desain periodik 4.....	78

Gambar 92. S_{11} Parameter desain final / periodik 5.....**Error!**
Bookmark not defined.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Tabel

Tabel 1. Karakteristik material RF Absorber	16
Tabel 2. Performa pyramidal absorber	17
Tabel 3. Tabel parameter contoh desain.....	20
Tabel 4. Frequency band	23
Tabel 5. Batasan tugas akhir.....	27
Tabel 6. Spesifikasi target	27
Tabel 7. Parameter unit cell 1	32
Tabel 8. Parameter variasi R1 unit cell 1	33
Tabel 9. Parameter variasi r2 unit cell 1	34
Tabel 10. Variasi r1 & r2 pada unit cell 1	35
Tabel 11. Parameter variasi t2 unit cell 1	36
Tabel 12. Parameter variasi t3 unit cell 1	37
Tabel 13. Parameter unit cell 2.....	38
Tabel 14. Parameter variasi lebar gap	38
Tabel 15. Parameter variasi sudut gap.....	39
Tabel 16. Parameter unit cell 3.....	40
Tabel 17. Parameter variasi r1 unit cell 3.....	41
Tabel 18. Parameter variasi r2 unit cell 3.....	42
Tabel 19. Parameter variasi r3 unit cell 3.....	43
Tabel 20. Parameter variasi r4 unit cell 3.....	44
Tabel 21. Parameter variasi r1 & r2 unit cell 3	45
Tabel 22. Parameter variasi r3 & r4 unit cell 3	46
Tabel 23. Parameter unit cell 3 dengan gap	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Riset mengenai teknologi antena mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Tentunya untuk mendapatkan performa antena yang baik, selain dirancang menggunakan teori secara matematis, perlu dilakukan pengukuran dan pengujian terhadap antena yang dirancang. Pengukuran dan pengujian memerlukan kondisi khusus untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada umumnya, kondisi ini dicapai dengan melakukan pengukuran dalam ruangan khusus yang disebut *anechoic chamber*. Namun faktanya, perkembangan riset antena tidak diimbangi dengan ketersediaan ruang khusus tersebut. Di Indonesia sendiri, keberadaan ruang *anechoic chamber* masih sangat jarang ditemui, sekalipun pada institusi atau lembaga penelitian sekalipun. Hal ini dikarenakan pembuatan ruang *anechoic chamber* sendiri memerlukan ukuran ruang yang relatif besar dan biaya yang tidak sedikit. Faktor ini lah yang menyebabkan *anechoic chamber* masih jarang ditemui. Solusi yang ditawarkan adalah menggunakan *Metamaterial Absorber* (MMA) sebagai bahan pengganti penyusun *anechoic chamber* [6]. MMA memiliki dimensi yang lebih kecil bila dibandingkan dengan material penyusun *anechoic chamber* pada umumnya, selain itu juga biaya pembuatannya relatif lebih murah [5]. Namun, MMA memiliki pita yang sempit, sehingga hanya dapat berfungsi optimal pada frekuensi tertentu saja [4]. Beberapa penelitian mengenai MMA menjelaskan metode untuk memperlebar pita MMA, namun diantaranya membutuhkan material yang sulit didapat di Indonesia. Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan uji coba metode memperlebar pita (*Bandwidth Enhancement*) metode simetris silang [4]. Metode ini dipilih karena menggunakan material yang umum dijumpai, serta memudahkan untuk penelitian selanjutnya. Rentang frekuensi yang dipilih pada tugas akhir ini adalah S-Band, dikarenakan untuk memudahkan komparasi dengan penelitian sebelumnya [8], juga karena banyaknya riset dan pengembangan pada rentang frekuensi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana spesifikasi struktur *EM absorber* untuk *anechoic chamber*?

- b. Bagaimana desain *Anechoic Chamber* dengan menggunakan *Metamaterial Absorber*?
- c. Bagaimana metode untuk memperlebar *Bandwidth Metamaterial Absorber*?

1.3 Batasan Masalah

1. MMA yang dirancang hanya difabrikasi dalam bentuk tile berukuran 30cm x 30cm.
2. Frekuensi yang diuji dibatasi pada rentang S-Band.
3. Material yang digunakan adalah tembaga untuk *ground plane* dan *patch*, serta FR4 untuk substrat.

1.4 Tujuan

- a. Mengetahui spesifikasi struktur *EM absorber* untuk *anechoic chamber* struktur *EM absorber* untuk *anechoic chamber*.
- b. Membuat desain *Anechoic Chamber* dengan menggunakan *Metamaterial Absorber*.
- c. Menguji metode untuk memperlebar *Bandwidth Metamaterial Absorber*.

1.5 Metodologi

- Studi Literatur

Dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi dari berbagai sumber, baik yang berasal dari buku, makalah, dan sumber lain yang relevan. Termasuk didalamnya mempelajari *simulator* yang diperlukan untuk keperluan penelitian. Materi yang dipelajari untuk keperluan penelitian adalah sebagai berikut.

- a. Antena, terkait dengan *gain* dan pola radiasi antena.
- b. Standar pengukuran antena.
- c. *Anechoic chamber*, meliputi gambaran umum dan prinsip kerjanya.
- d. *Metamaterial*, meliputi gambaran secara umum dan implementasinya.
- e. *Metamaterial absorber*, meliputi prinsip kerjanya dan perkembangannya.
- f. Desain-desain *unit cell* untuk *absorber*.
- g. Metode memperlebar *bandwidth* untuk *metamaterial absorber*.
- h. S_{11} Parameter yang menjadi penentu kualitas dari *metamaterial absorber*.

- **Desain**

Desain *unit cell* maupun yang tersusun periodik menggunakan CST Microwave Studio.

- **Simulasi**

Desain yang dibuat diuji menggunakan simulator CST Microwave Studio untuk dilihat apakah parameter yang diukur telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

- **Fabrikasi**

Bila desain yang telah diuji dengan simulator telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, desain tersebut akan dicetak agar dapat dilakukan pengukuran.

- **Pengukuran**

Metamaterial absorber yang telah dicetak selanjutnya diukur agar bias dilakukan komparasi antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

- **Analisa**

Menganalisa pengaruh modifikasi pada desain *metamaterial absorber*, pengaruh dari tata letak pada susunan periodik, juga membandingkan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran *metamaterial absorber*.

- **Laporan**

Penyusunan buku laporan Tugas Akhir agar dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu :

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai gambaran tugas akhir ini secara umum. Meliputi latar belakang, rumusan masalah dan batasannya, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, serta relevansi.

Bab II Teori Penunjang

Pada bab ini ditulis teori yang berasal dari buku maupun makalah yang berkaitan dengan penelitian ini. Teori yang menjadi acuan penelitian ini telah dijelaskan dalam subbab sebelumnya.

Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan dalam penelitian tugas akhir ini. Meliputi diagram alur, spesifikasi target, metode desain *metamaterial absorber* beserta simulasinya, juga metode pengukuran *metamaterial absorber* yang telah difabrikasi.

Bab IV Analisa

Pada bab ini ditulis mengenai analisa terhadap perubahan/modifikasi desain *metamaterial absorber* yang disimulasikan. Dilakukan pula analisa perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

Bab V Kesimpulan

Pada bab ini, dituliskan kesimpulan dari penelitian ini, dengan ditambahkan rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

- a. Menghasilkan desain *metamaterial absorber* untuk *anechoic chamber* pada frekuensi S-Band.
- b. Sebagai literatur mengenai desain *metamaterial absorber* serta pengaruh modifikasi desain *metamaterial absorber* agar bisa diterapkan pada Band frekuensi yang lain.
- c. Sebagai literatur untuk penelitian selanjutnya.

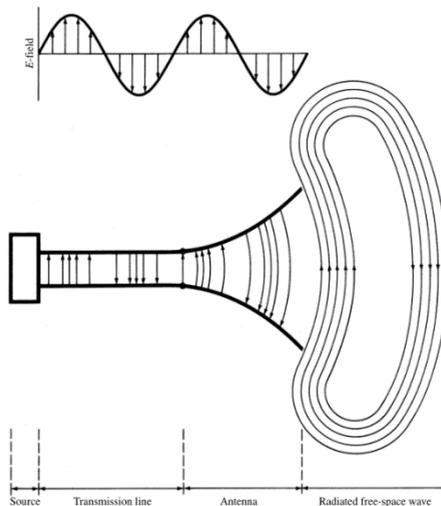
Bab 2

Teori Penunjang

2.1 Antena

Sebuah antena didefinisikan menurut Webster's Dictionary sebagai perangkat yang umumnya terbuat dari logam untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Sedangkan menurut IEEE Standard Definitions of

Terms for Antennas (IEEE Std 145–1983) mendefinisikan antena sebagai sebuah benda untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain, antena adalah struktur transisi antara *free-space* dan *guiding device*. *Guiding device* dapat berupa kabel koaksial atau *waveguide*, dan perangkat tersebut digunakan untuk menghantarkan energy elektromagnetik dari sumber menuju antena, atau dari antena menuju penerima. Untuk kasus pertama disebut antena pengirim, dan untuk kasus kedua disebut antena penerima. [1]

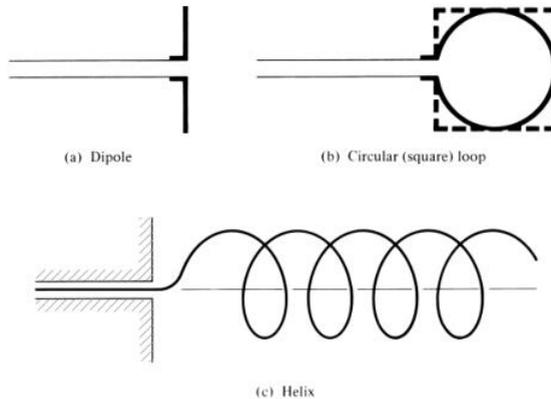


Gambar 1. Prinsip kerja antena

2.1.1 Jenis-jenis antena [1]

- *Wire Antenna*

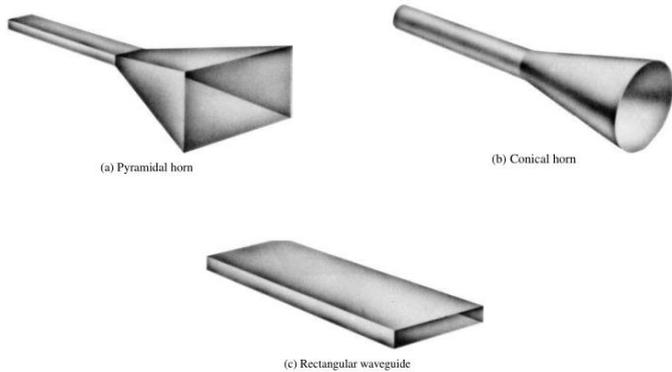
Wire antenna cukup familiar karena antena tersebut dapat dilihat hampir di setiap tempat. Pada mobil, bangunan, kapal, pesawat, dan tempat yang lain. Terdapat banyak variasi bentuk dari *wire antenna*, diantaranya *dipole*, *loop* dan *helix*.



Gambar 2. Jenis Antena [1]

- *Aperture antenna*

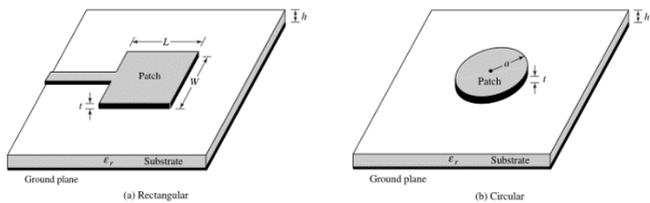
Aperture antenna cukup populer saat ini bila dibandingkan dengan dahulu dikarenakan kenaikan permintaan untuk bentuk antena yang canggih dan pemanfaatan pada frekuensi yang lebih tinggi. Antena jenis ini sangat berguna untuk pesawat terbang dan pesawat luar angkasa, karena antena tersebut mudah dipasang pada lapisan terluar dari kedua jenis pesawat tersebut. Terlebih lagi, antena tersebut dapat dilapisi dengan material dielektrik untuk melindungi antena dari kondisi lingkungan yang berbahaya.



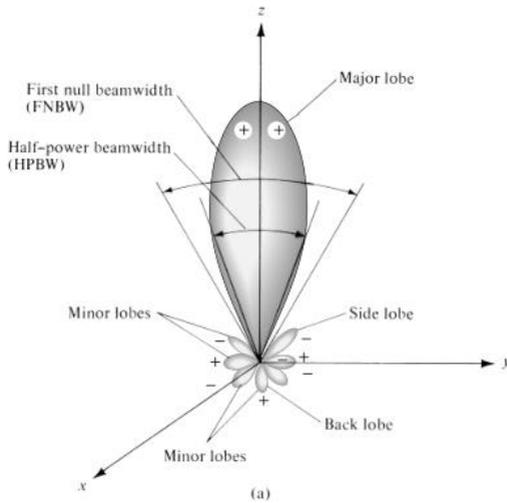
Gambar 3. Jenis Antena [1]

- *Microstrip antenna*

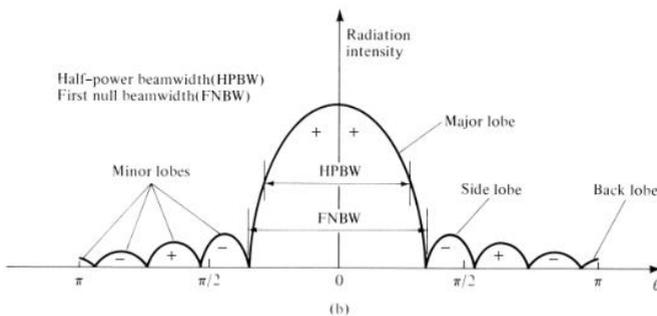
Microstrip antenna menjadi populer pada tahun 1970-an untuk aplikasi pesawat luar angkasa. Saat ini jenis antena ini telah banyak dikomersilkan. Antena ini terdiri dari *patch* logam dan substrat yang terhubung dengan *ground*. *Patch* logam dapat memiliki berbagai bentuk. Namun, bentuk persegi dan lingkaran adalah bentuk yang paling populer karena kemudahan analisa dan fabrikasi, juga karena karakteristik radiasinya. *Microstrip antenna* memiliki kelebihan dalam kesederhanaan dan biaya yang murah untuk fabrikasinya. Jenis antena ini dapat dipasang pada permukaan pesawat terbang, pesawat luar angkasa, satelit, misil, mobil, bahkan pada telepon seluler.



Gambar 4. Jenis Antena [1]



Gambar 5. Pola radiasi antenna [1]



Gambar 6. Pola radiasi antenna [1]

2.1.3 Far-field

Dimensi ruang sekitar antenna umumnya dibagi menjadi tiga region : *reactive near-field*, *radiating near-field* (Fresnel), *far-field* (Fraunhofer). Jenis region ini dirancang untuk mengidentifikasi struktur medan pada tiap region. Terdapat perbedaan diantara tiap-tiap

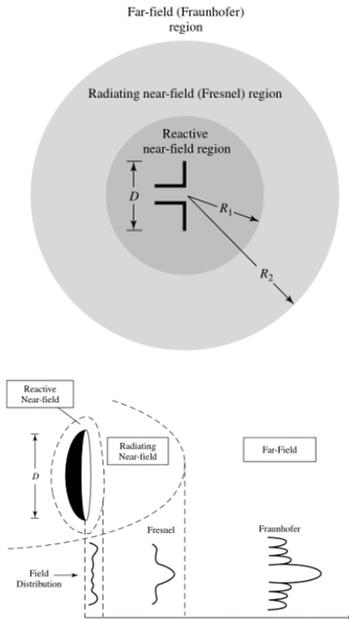
region. Batasan yang memisahkan jenis region tersebut tidak bersifat unik, meskipun kriteria untuk mengidentifikasi region bervariasi.

Reactive near-field region didefinisikan sebagai bagian *near-field region* yang secara langsung mengelilingi antenna dimana medan reaktif bersifat dominan. *Radiating near-field (Fresnel) region* didefinisikan sebagai region medan yang berada diantara *reactive near-field region* dan *far-field region*. Dimana distribusi medan angular bergantung dengan jarak dari antenna. Jika antenna memiliki dimensi maksimum yang tidak terlalu besar bila dibandingkan dengan panjang gelombang, region ini mungkin tidak ada. *Far-field region* didefinisikan sebagai region medan suatu antenna dimana distribusi medan angular bersifat independen terhadap jarak dari antenna.

$$R_{\text{rnf}} < 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \tag{2.1}$$

$$0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R_{\text{nf}} < 2D^2/\lambda \tag{2.2}$$

$$R_{\text{ff}} = 2D^2/\lambda \tag{2.3}$$



Gambar 7. Field region [1]

2.1.4 Pengukuran antena [1]

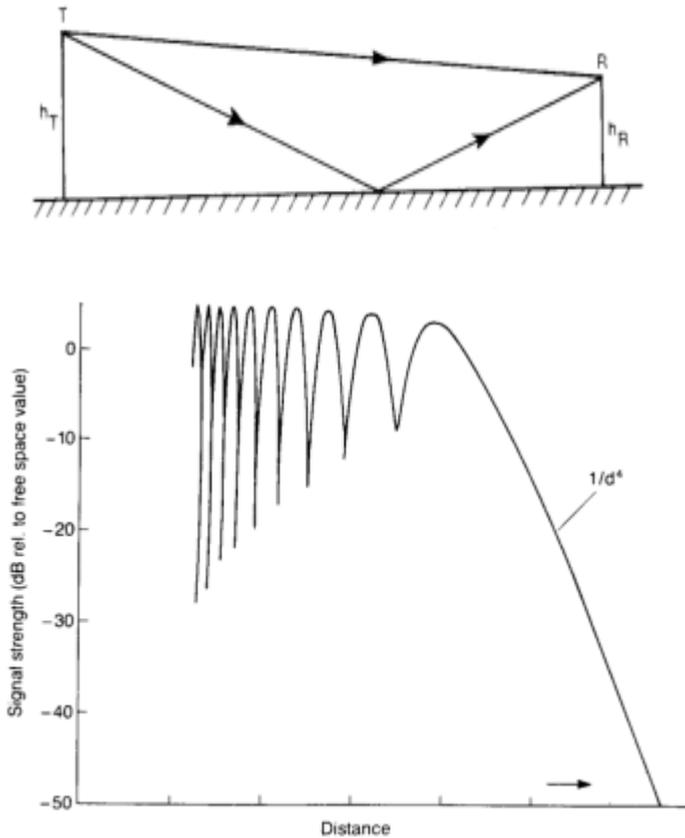
Beberapa jenis antena dikarenakan kompleksitas konfigurasi struktur dan metode eksitasinya tidak dapat diperiksa secara analitik. Meskipun telah banyak dikembangkan metode penghitungan seperti *moment method*, *finite difference time-domain*, dan *finite element*, masih terdapat beberapa jenis antena yang tidak dapat diperiksa secara analitik. Untuk itu, diperlukan pengukuran terhadap antena agar bisa diketahui performa dari antena tersebut. Selain itu, pengukuran antena juga dibutuhkan untuk validasi data antena. Pengukuran antena umumnya terdiri dari dua parameter mendasar yang penting. Yang pertama adalah bagaimana distribusi energi pada dimensi ruang atau pola radiasi antena tersebut. Yang kedua adalah untuk menguji *match* antara antena dan *feeding* yang digunakan, atau impedansi input antena tersebut.

2.1.5 Propagasi gelombang radio [2]

Propagasi gelombang radio pada ruang bebas hanya terjadi pada kondisi yang sangat terbatas. Dalam kondisi praktisnya hampir selalu ada penghalang pada atau di sekitar *link* propagasi atau pada permukaan dimana gelombang radio dapat diapntulkan. Kasus yang paling sederhana, namun menjadi fokus dalam implementasi praktis, ialah propagasi diantara dua antena dalam keadaan *line of sight* diatas permukaan bumi. Dalam kasus ini dibatasi untuk kasus propagasi diatas permukaan bumi yang dianggap datar. Karena untuk jarak kurang dari puluhan kilometer, nilai kelengkungan bumi dapat diabaikan, serta dapat diasumsikan permukaan bumi bersifat *smooth* dan datar.

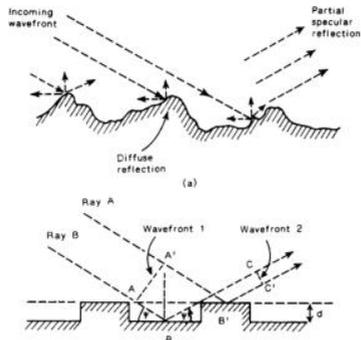
Akibat adanya pantulan dari permukaan bumi, menimbulkan adanya interferensi gelombang yang dikirim. Interferensi tersebut dapat bersifat menjumlahkan atau memperkuat gelombang asli, atau sebaliknya yaitu meredam sinyal asli yang dikirimkan. Faktor yang mempengaruhi adalah pergeseran/perbedaan fase antara gelombang asli dan gelombang yang merupakan hasil dari pantulan permukaan bumi. Fase tersebut dipengaruhi oleh jarak antara antena pengirim dan antena penerima.

Pengaruh lain yang ditimbulkan bila ditinjau dari sudut pandang antena pengirim, maka seakan-akan pola radiasi dari antena tersebut berubah bentuk. Ada *lobe* yang diperkuat karena pantulan, begitu pula sebaliknya ada *lobe* yang mengalami redaman karena adanya pantulan, bahkan terlihat menghilang atau menjadi bernilai nol. Efek tersebut dikenal sebagai *fading*.



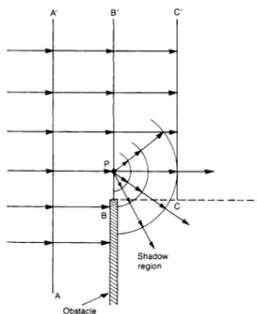
Gambar 8. Efek pantulan pada propagasi [2]

Sebelumnya, diasumsikan bahwa permukaan pantulan adalah permukaan yang halus. Jika permukaan pantulan adalah permukaan kasar, asumsi pantulan tidak lagi realistis karena permukaan kasar memiliki banyak variasi untuk gelombang datang. Untuk kasus ini penting untuk mendefinisikan tingkat kekasaran suatu permukaan. Suatu permukaan yang dikatakan kasar pada sudut dan frekuensi tertentu dapat dikategorikan sebagai permukaan yang tidak kasar bila sudut dan frekuensinya diubah. Ukuran kekasaran suatu permukaan diperlukan untuk mengkuantisasi masalah ini, kriteria tersebut umum dikenal sebagai kriteria *Rayleigh*.



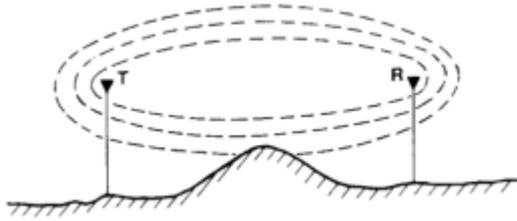
Gambar 9. Pengaruh kekasaran permukaan [2]

Kejadian lain yang perlu diperhatikan adalah bila propagasi gelombang mengenai sebuah objek sepanjang jalur atau lintasan propagasi. Lekukan atau *bending* dari gelombang radio tersebut umum dikenal sebagai **difraksi**.



Gambar 10. Difraksi gelombang [2]

Hal ini dapat berpengaruh terhadap propagasi gelombang dan dipandang sebagai rugi-rugi. Untuk mengatasi hal tersebut, antenna pengirim dan penerima diletakkan pada zona yang dinamakan *fresnel zone*. Zona dimana kondisi antenna pengirim dan penerima berada dalam kondisi *line of sight*, dengan kata lain tidak ada rugi-rugi karena difraksi.



Gambar 11. Line of Sight [2]

2.1.6 Standar pengukuran antenna [1]

Pengukuran antenna dilakukan pada jarak-jarak tertentu atau disebut *antenna ranges*. Fasilitas pengukuran dikategorikan menjadi 2 yaitu *outdoor* dan *indoor*. Pengukuran *outdoor* dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sedangkan pengukuran *indoor* dibatasi oleh ukuran ruang. Karena beberapa karakteristik dari antenna diukur dengan syarat kondisi *far-field*, ukuran ruang yang besar membatasi pengukuran fasilitas *indoor*. Namun masalah tersebut dapat diselesaikan dengan konversi hasil pengukuran *near-field* menjadi *far-field* dengan menggunakan metode analitik yang dikenal dengan *near-field to far-field* (NF/FF).

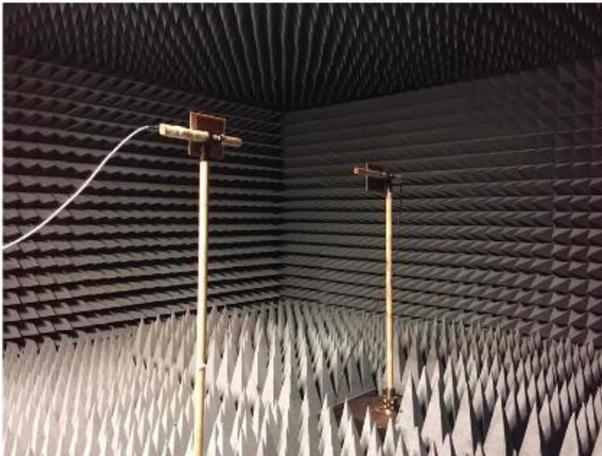
Pada umumnya, terdapat dua jenis *antenna ranges*, yaitu *reflection range* dan *free-space range*. *Reflection range* dapat menciptakan interferensi konstruktif pada antenna yang diuji, sehingga gelombang yang dikirim tidak mengalami redaman atau efek *fading*. Hal ini dapat dicapai dengan merancang jarak antar antenna dimana menghasilkan nilai beda fase tertentu yang menghasilkan interferensi yang bersifat konstruktif. Pilihan lain adalah dengan cara mengubah ketinggian antenna pengirim. *Free-space range* dirancang untuk menekan atau mengurangi pengaruh lingkungan terhadap pengukuran antenna. Diantara metodenya ialah dengan menggunakan *elevated ranges*, *slant ranges*, dan *anechoic chambers*.

Elevated ranges umumnya dirancang untuk beroperasi diatas permukaan halus. Antena pengirim dan penerima terpasang pada menara atau atap dari bangunan yang berseberangan. *Range* ini digunakan untuk mengukur antenna berukuran besar. *Slant ranges* dirancang agar antenna yang diuji terpasang pada ketinggian tertentu, sedangkan antenna pengirim diletakkan dekat dengan tanah. Antena pengirim diarahkan sedemikian sehingga *main beam* mengarah menuju antenna yang diuji atau antenna penerima. *Anechoic chambers* adalah ruang khusus yang dikembangkan untuk mengendalikan

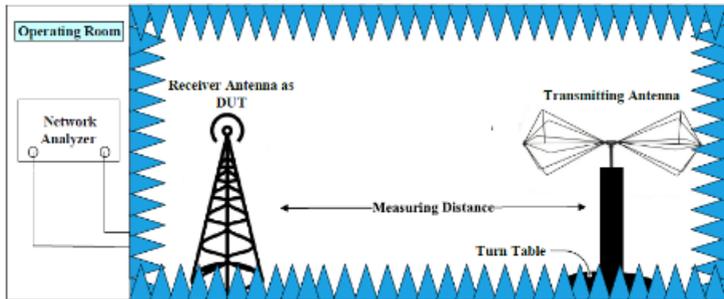
lingkungan dengan menekan pengaruh cuaca dan interferensi elektromagnetik untuk keperluan pengukuran gelombang elektromagnetik. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab berikutnya.

2.2 *Anechoic chamber* [3]

Pada pengukuran menggunakan *anechoic chambers*, pengukuran dilakukan didalam ruangan yang dilapisi dengan *Radio Frequency (RF) absorbers*. Ketersediaan material *RF absorbers* juga perkembangan karakteristik elektrik telah menjadikan teknologi *anechoic chamber* berkembang pesat. *Anechoic chambers* umumnya digunakan untuk gelombang mikro, namun material yang digunakan telah diteliti dan dikembangkan sehingga dapat menyediakan koefisien pantul sebesar -40 dB pada sudut datang normal pada frekuensi 100 MHz. Secara umum, jika frekuensi kerja semakin kecil, ketebalan dari material *RF absorber* semakin besar untuk mempertahankan nilai koefisien pantul. *RF absorbers* yang memenuhi kebutuhan koefisien pantul pada frekuensi rendah umumnya akan memiliki performa yang lebih baik pada frekuensi yang lebih tinggi. [3]



Gambar 12. *Anechoic chamber* [3]



Gambar 13. Metode pengukuran pada *anechoic chamber* [3]

2.2.1 Prinsip kerja

Pertama-tama diasumsikan sebuah gelombang elektromagnetik datar menabrak dinding dengan sudut datang normal. Peristiwa ini dapat dimodelkan sebagai sebuah sinyal yang melewati *transmission line* dengan impedansi karakteristik 377 ohm.

Pada kasus ini, antenna dimodelkan sebagai sumber tegangan dan dinding sebagai beban. Sebuah ruang tanpa pantulan dapat diciptakan jika sinyal yang terkirim dari sumber tegangan terhalang untuk memantul. Karena dinding dari ruang terbuat dari logam metalik, *transmission line* bersifat *short circuit*. Hal ini berarti semua sinyal terpantul sehingga tidak ada disipasi daya pada dinding. Karena itu, material *RF absorbers* dibutuhkan untuk menahan daya agar tidak dipantulkan. Material *RF absorber* bersifat meredam gelombang yang melewatinya. Saat gelombang dikirim dari sumber menuju dinding, gelombang melewati material *RF absorber* dan mengalami redaman. Selanjutnya gelombang mengenai dinding metalik dan dipantulkan kembali menuju sumber, namun melewati material *RF absorber* dan kembali mengalami redaman. Besarnya redaman yang disebabkan oleh material ini menjadikan besaran gelombang yang memantul memiliki nilai yang sangat kecil, bahkan dapat mencapai -40 dB.

2.2.2 Material penyusun

Frekuensi kerja dari *anechoic chambers* dipengaruhi oleh jenis *RF absorbers* yang digunakan. Terdapat banyak jenis *RF absorbers* yang tersedia di pasaran. *RF absorbers* dapat digunakan untuk meredam gelombang pantulan maupun transmisi dari objek tertentu. Dengan kata lain, *RF absorbers* digunakan untuk menciptakan

lingkungan *free-space* pada semua kondisi cuaca dengan mengurangi pantulan gelombang.

RF absorber terbuat dari variasi material yang berbeda dan dapat memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. Karakteristik *absorber* dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan pengukuran yang akan dilakukan. Jenis *RF absorber* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Karakteristik material *RF Absorber* [3]

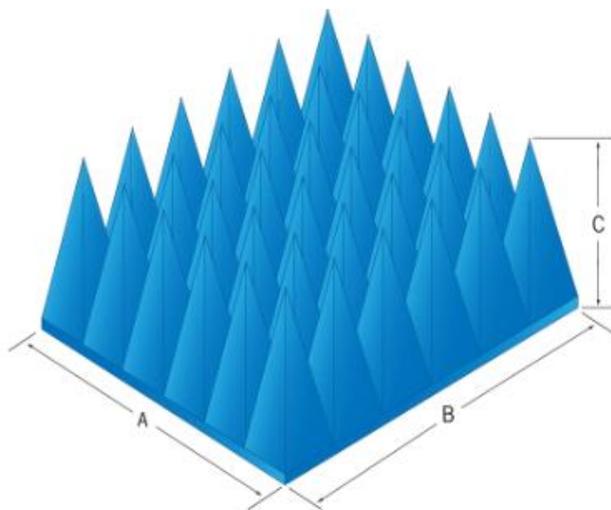
Jenis	Bentuk	Karakteristik
<i>Polyurethane Absorber</i> dan <i>Foam Absorber</i>	<i>Pyramidal absorber</i> dan <i>wedge absorber</i>	Biaya mahal, ukuran <i>chamber</i> lebih besar, bekerja pada frekuensi tinggi
<i>Ferrite tile absorber</i>	<i>Tile</i> dan <i>tile panels</i>	Ukuran <i>chamber</i> lebih kecil, lebih tahan lama, lebih berat, sangat mahal (tiga kali lipat dari biaya <i>foam absorber</i>), beroperasi pada frekuensi 30 MHz – 1 GHz
<i>Polystyrene foam absorber</i>	<i>Pyramidal absorber</i> dan <i>wedge absorber</i>	Lebih mahal, tahan lama, ukuran <i>chamber</i> lebih besar daripada yang berbahan <i>ferrite</i>

Pyramidal absorber adalah jenis *absorber* yang paling umum digunakan untuk *anechoic chamber* untuk keperluan pengukuran antena dan radar. Jenis tersebut tersedia dalam berbagai ukuran untuk menyesuaikan nilai frekuensi yang dibutuhkan. *Ferrite tile absorber* dapat menjadi alternatif untuk *foam absorber* untuk meningkatkan kemampuan *anechoic chamber* untuk pengukuran emisi radiasi.

Tabel 2. Performa pyramidal absorber [3]

Type	Height, cm (in.)	Weight, kg (lb)	Tips per piece	Normal Incidence Reflectivity, GHz										
				0.12	0.3	0.5	1.0	3.0	6.0	10.0	18.0	36	50	
P-4	10.9(4.3)	1.4(3)	144						30	35	42	50	50	50
P-6	15.2(6)	1.6(3.5)	100						32	40	45	50	50	50
P-8	20.3(8)	2.0(4.5)	64				30	37	45	50	50	50	50	
P-12	30.5(12)	2.7(6.0)	36				35	40	45	50	50	50	50	
P-18	45.7(18)	5.4(12)	16			30	37	40	45	50	50	50	>45	
P-24	61(24)	7.7(17)	9		30	35	40	45	50	50	50	50	>45	
P-36	91.4(36)	10.9(24)	4		35	37	42	50	50	50	50	50	>45	
P-48	121.9(48)	17(38)	2	28	35	40	50	50	50	50	50	50	>45	
P-72	182.9(72)	23(50)	1	33	40	45	50	50	50	50	50	50	>45	

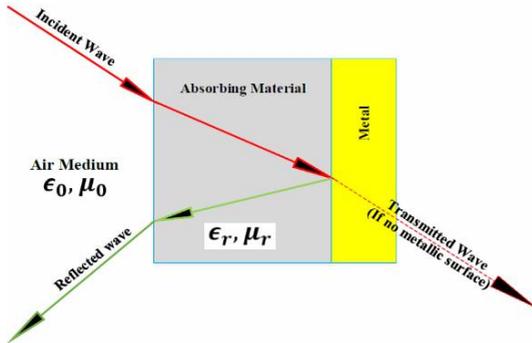
Note: Base dimensions are 0.61 m²(2 ft²). Power rating is 0.08 W/cm²(0.5 W/in.²).



Gambar 14. Pyramidal absorber [3]

2.2.3 Prinsip kerja *RF absorber*

Permittivitas elektrik dan permeabilitas magnetik menentukan karakteristik dari *absorber*. Ketika gelombang elektromagnetik merambat melalui medium yang berbeda, gelombang tersebut dapat tembus seluruhnya, atau ada sebagian yang terpantulkan atau terserap. Besarnya gelombang yang terpantulkan tersebut yang menjadi fokus *anechoic chamber*.



Gambar 15. Karakteristik medan pada *anechoic chamber* [3]

ϵ_0 dan μ_0 adalah nilai permitivitas dan permeabilitas pada ruang hampa, sedangkan ϵ_r dan μ_r adalah nilai permitivitas dan permeabilitas relatif yang bergantung pada jenis material. Nilai permeabilitas dan permitivitas relatif tersebut yang didesain sedemikian hingga menghasilkan nilai impedansi yang sama dengan impedansi ruang hampa sehingga memiliki nilai pantulan minimal.

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \cdot \tanh\left(j \frac{2\pi f d}{c} \cdot \sqrt{\mu_r \epsilon_r}\right) \quad (2.4)$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.5)$$

$$RL = 20 \cdot \log_{10}(\Gamma) \quad (2.6)$$

2.3 *Metamaterial absorber*

Metamaterial absorber adalah sebuah perangkat yang menggunakan struktur resonansi buatan untuk menyerap energi elektromagnetik pada frekuensi tertentu. Perangkat ini telah

digunakan untuk merancang serapan hampir sempurna untuk mengurangi pantulan dari objek. Namun, meskipun memiliki tingkat serapan (*absorption*) yang tinggi, kebanyakan *metamaterial absorber* beroperasi pada *single-band*, dan *band* yang sempit. *Metamaterial absorber* dapat digunakan sebagai alternatif dari *RF absorber* karena ketebalan yang sangat tipis, tingkat serapan yang hampir sempurna, dan proses manufaktur yang mudah. [4][5]

2.3.1 Prinsip kerja *metamaterial absorber* [4]

Prinsip kerja dari *metamaterial absorber* mirip dengan *RF absorber* pada umumnya, yaitu menyesuaikan nilai dari permitivitas dan permeabilitas bahan sehingga pada frekuensi yang diinginkan akan memiliki nilai impedansi sama dengan impedansi udara, yaitu 377 ohm.

$$Z(w) = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r(w)}{\epsilon_0 \epsilon_r(w)}} \quad (2.7)$$

$$\Gamma = \frac{Z(w) - Z_0}{Z(w) + Z_0} \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat disimpulkan dengan merancang nilai impedansi sedemikian, dapat didapat koefisien pantul yang mendekati nol.

2.3.2 *Absorptivity* [6]

Tingkat penyerapan atau *absorptivity* dapat dihitung dengan persamaan berikut, dimana $A(w)$ adalah tingkat penyerapan, $|S_{11}(w)|^2$ adalah daya yang dipantulkan, sedangkan $|S_{21}(w)|^2$ adalah daya yang ditransmisikan atau tembus melewati material.

$$A(w) = 1 - |S_{11}(w)|^2 - |S_{21}(w)|^2 \quad (2.9)$$

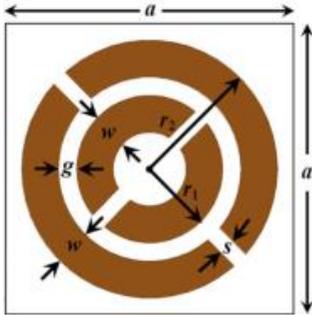
Bila struktur *metamaterial* terlaminaasi dengan *copper* pada lapisan bawah, maka nilai $|S_{21}(w)| = 0$ sehingga dapat dituliskan kembali.

$$A(w) = 1 - |S_{11}(w)|^2 \quad (2.10)$$

Sehingga tingkat penyerapan dapat dimaksimalkan dengan cara meminimalisir tingkat pantulan.

2.3.3 Unit cell [5]

Unit cell satuan desain *patch* pada *metamaterial absorber* yang disusun secara periodik. Terdapat banyak jenis *unit cell*, salah satunya adalah lingkaran. Desain berikut memiliki *band* yang lebar pada ukuran lingkaran tertentu.



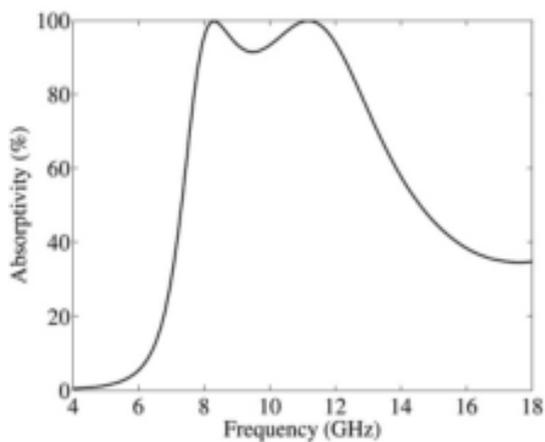
Gambar 16. Contoh desain *metamaterial absorber* [5]

Dengan nilai tertera pada tabel berikut.

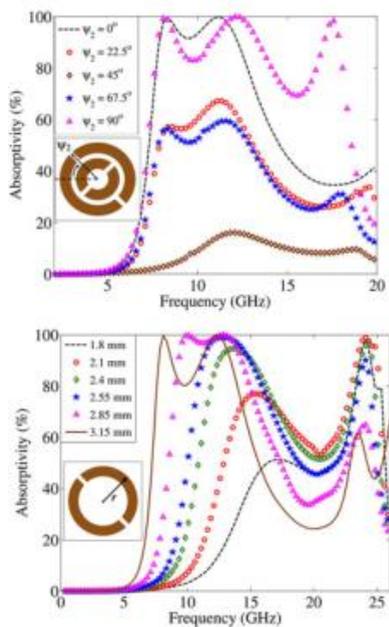
Tabel 3. Tabel parameter contoh desain

Parameter	Nilai (mm)
a	7,1
r1	1,8
r2	3,15
w	0,9
g	0,45
s	0,4

Berdasarkan parameter tersebut didapat performa dari *metamaterial absorber* pita lebar mencapai 6 GHz dengan tingkat serapan mencapai 80%.



Gambar 17. Performa absorber berdasarkan contoh desain [5]

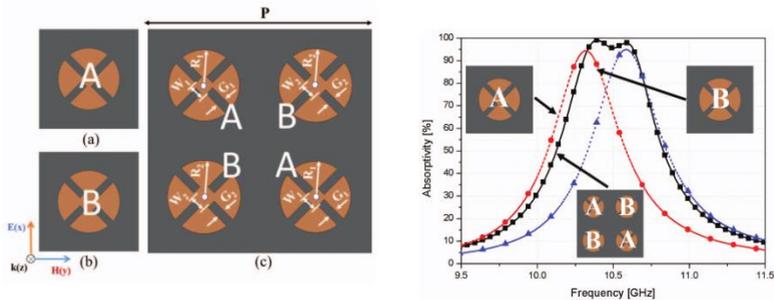


Gambar 18. Karakteristik metamaterial absorber berdasar contoh desain [5]

Dapat dilihat pula, bahwa frekuensi kerja dari *metamaterial absorber* sangat dipengaruhi oleh nilai r_1 dan rotasi sudut pada ring terluar. Dimana nilai r_1 mempengaruhi batas frekuensi terendah, sedangkan nilai rotasi sudut mempengaruhi tingkat serapan.

2.3.4 Bandwidth enhancement [4]

Desain dari *unit cell* umumnya hanya dapat beroperasi baik pada frekuensi tertentu saja, bila dipaksakan frekuensi tersebut digeser, akan mengakibatkan rendahnya tingkat serapan dari *metamaterial absorber*, juga *band* menjadi semakin sempit. Salah satu metode untuk memperlebar *band* tersebut adalah dengan cara menggabungkan dua jenis *unit cell* yang disusun secara simetris. Dengan begitu, frekuensi kerja kedua *unit cell* tersebut akan tergabung dan mengakibatkan bertambah lebarnya *band* dari *metamaterial absorber*.



Gambar 19. Desain simetris dan performanya [4]

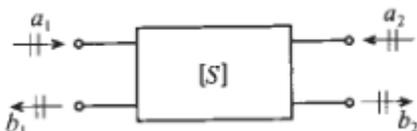
Dapat dilihat pada gambar, bahwa hasil susunan simetris *unit cell* A dan B mengakibatkan frekuensi kerja kedua *unit cell* tersebut tergabung menjadi satu. Hal yang perlu diperhatikan adalah perbedaan frekuensi kerja kedua *unit cell* tersebut tidak boleh terlampaui jauh, karena akan mengakibatkan menurunnya tingkat serapan yang dihasilkan.

2.4 Scattering parameter [7]

Sederhananya, *scattering parameter* adalah sebuah *tool* untuk mendeskripsikan hubungan inut-output pada sebuah jaringan dalam konteks gelombang datang dan gelombang pantul. Dengan nilai a_1 ,

b_1 , a_2 , dan b_2 adalah daya ternormalisasi. Besarnya S-parameter dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} = \frac{\text{Gelombang pantul pada Port 1}}{\text{Gelombang datang pada Port 1}} \quad (2.11)$$



Gambar 20. Two port network [7]

2.5 Band frequency [8]

Band frequency yang umum dipakai seperti pada tabel berikut, berdasarkan IEEE 521-2002 - IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands.

Tabel 4. Frequency band

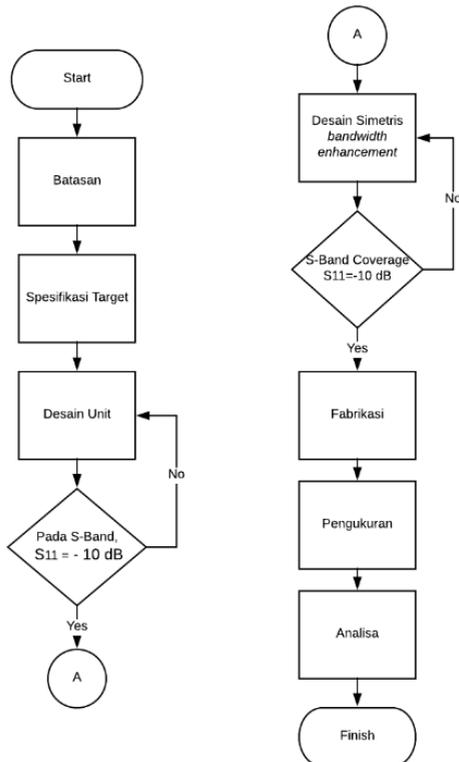
Radar nomenclature		ITU nomenclature			
Radar letter designation	Frequency range	Frequency range	Band No.	Adjectival band designation	Corresponding metric designation
HF	3-30 MHz	3-30 MHz	7	High frequency (HF)	Dekametric waves
VHF	30-300 MHz	30-300 MHz	8	Very high frequency (VHF)	Metric waves
UHF	300-1000 MHz	0.3-3 GHz	9	Ultra high frequency (UHF)	Decimetric waves
L	1-2 GHz				
S	2-4 GHz				
C	4-8 GHz				
X	8-12 GHz	3-30 GHz	10	Super high frequency (SHF)	Centimetric waves
Ku	12-18 GHz				
K	18-27 GHz				
Ka	27-40 GHz				
V	40-75 GHz	30-300 GHz	11	Extremely high frequency (EHF)	Millimetric waves
W	75-110 GHz				
mm	110-300 GHz				

Halaman ini sengaja dikosongkan

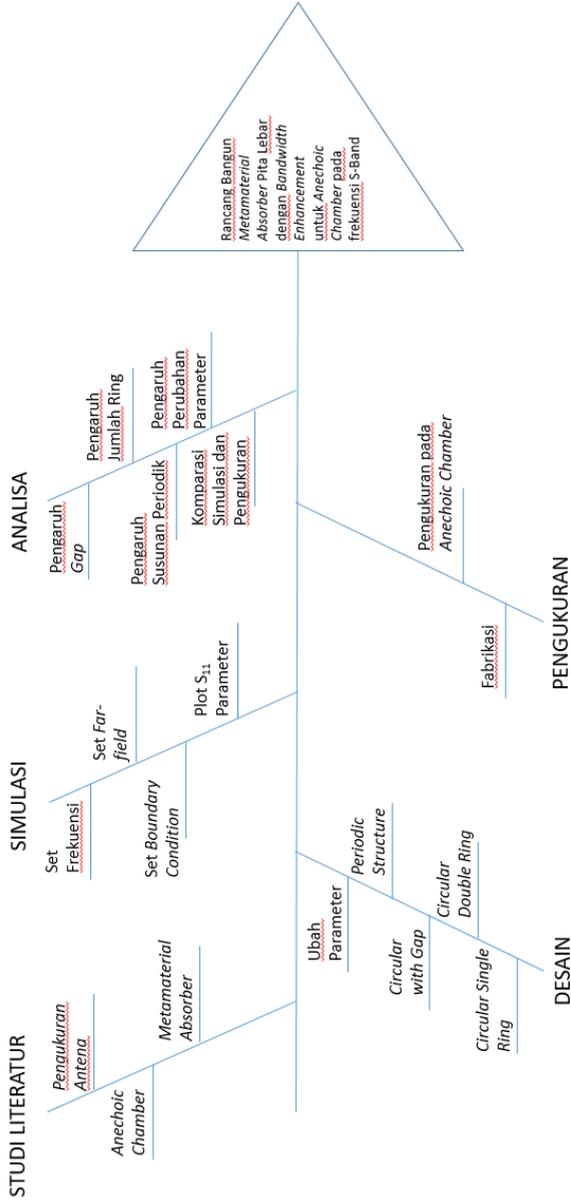
Bab 3 Metodologi

3.1 Alur Perancangan

Perancangan *metamaterial absorber* ini terdiri dari beberapa tahap. Tahapan dimulai dari penentuan batasan, dilanjutkan dengan desain *unit cell*, dan *bandwidth enhancement*.



Gambar 21. Flowchart tugas akhir



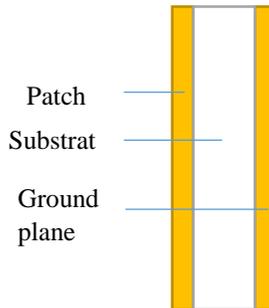
Gambar 22. Diagram Fishbone pengerjaan tugas akhir

- Batasan

Pada tugas akhir ini, terdapat beberapa batasan dalam pengerjaannya, batasan tersebut tertera pada tabel berikut.

Tabel 5. Batasan tugas akhir

Parameter	Keterangan
Substrat	Fr-4
Jumlah layer	Single layer (patch)
Ukuran	30 x 30 cm ²
Patch	Copper
Ground plane	Copper



Gambar 23. Susunan layer metamaterial absorber

- Spesifikasi Target

Pada tugas akhir ini, terdapat beberapa target yang ingin dicapai, target tersebut tertera pada tabel.

Tabel 6. Spesifikasi target

Parameter	Target
Band frekuensi	S-Band
S_{11}	≤ -10 dB

- **Desain Unit Cell**

Desain *metamaterial absorber* dimulai dari desain *unit cell* untuk memudahkan dalam pengerjaan dan analisisnya. Untuk *unit cell* targetnya adalah beroperasi pada frekuensi S-Band meskipun tidak mencakup seluruhnya, dan memiliki nilai $S_{11} \leq -10$ dB.

- **Desain Simetris untuk Bandwidth Enhancement**

Setelah desain *unit cell* memenuhi kriteria, dilanjutkan dengan desain simetris untuk memperlebar *bandwidth*. Susunan *unit cell* seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Target kali ini adalah memiliki nilai $S_{11} \leq -10$ dB dan mencakup seluruh frekuensi pada S-Band, yakni 2-4 GHz.

- **Fabrikasi**

Setelah dipilih desain yang dirasa memiliki hasil paling baik, desain tersebut difabrikasi agar dapat dilakukan pengukuran. Fabrikasi dilakukan dengan cara mencetak *copper* diatas substrat FR-4. Cetak yang pertama untuk *ground plane*, dan cetak yang kedua adalah cetak untuk *patch*.

- **Pengukuran**

Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengukuran pada *metamaterial absorber* tersebut. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui komparasi hasil simulasi dengan hasil praktis, juga komparasi performa *anechoic chamber* tempat dilakukan pengukuran dengan *metamaterial absorber* yang tujuan awalnya akan digunakan untuk alternatif material penyusun *anechoic chamber*.

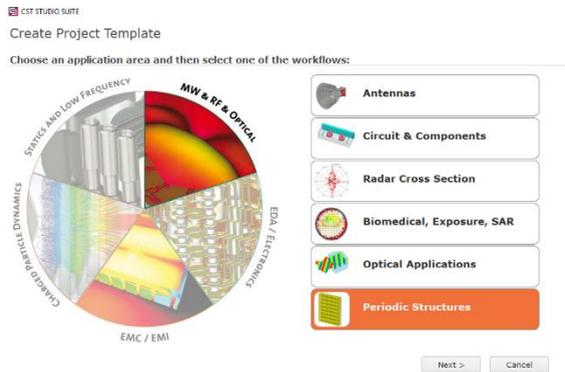
- **Analisa**

Langkah yang terakhir adalah melakukan analisa terhadap hasil simulasi dan hasil pengukuran yang telah didapatkan. Analisa tersebut diantara lain berupa komparasi hasil S_{11} dengan variasi desain *patch*, komparasi hasil pengukuran dengan hasil simulasi, komparasi performa *anechoic chamber* dengan *metamaterial absorber*.

3.2 Setting Pada CST

- **Simulasi metamaterial absorber**

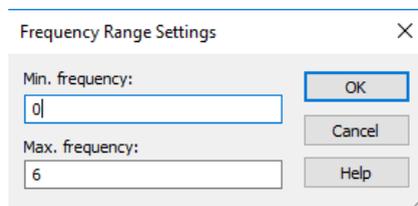
Pada simulasi CST, saat pertama kali membuka aplikasi, akan muncul pilihan-pilihan *project template*. Pilih *MW & RF & Optical*, lalu pilih opsi *Periodic Structure* untuk membuat template simulasi *metamaterial absorber*.



Gambar 24. Jendela awal CST

- Set range frekuensi

Hal lain yang perlu diperhatikan pada simulasi CST adalah pengaturan frekuensi kerja. Karena CST hanya akan menampilkan hasil simulasi berdasarkan frekuensi yang diatur saat awal menjalankan simulasi. Semakin tinggi frekuensi, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan sebuah simulasi. Pada tugas akhir ini, dipilih range pada S-Band. Agar dapat lebih mudah mengamati hasil dari desain yang akan disimulasikan, dibuat margin sebesar 2 GHz dibawah dan diatas, sehingga range frekuensi yang diamati adalah mulai dari 0 GHz – 6 GHz.

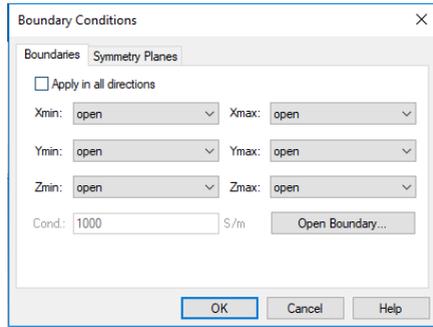


Gambar 25. Frequency setting

- Set Boundary Condition

Boundary condition adalah kondisi lingkungan dimana *metamaterial absorber* disimulasikan. Kondisi lingkungan akan berpengaruh terhadap hasil simulasi. Kondisi ini bergantung pada tujuan implementasi dari *metamaterial absorber* yang akan dirancang.

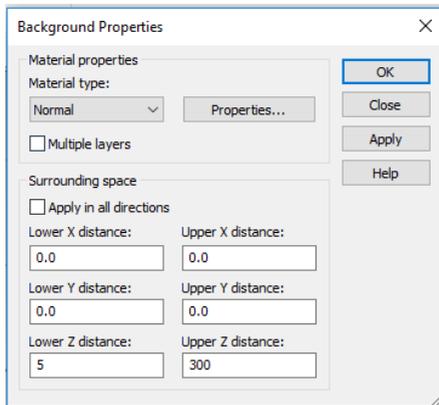
Pada tugas akhir ini, dirancang *metamaterial absorber* untuk keperluan *anechoic chamber*, maka kondisi lingkungan yang dibutuhkan adalah kondisi lingkungan pada ruang terbuka.



Gambar 26. Boundary condition

- Hitung *Far-field*

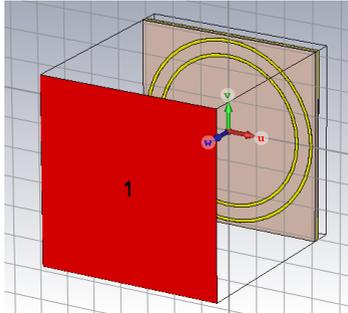
Untuk menghasilkan hasil simulasi yang baik, *far-field* merupakan faktor yang perlu diperhatikan. Karena *far-field* akan mempengaruhi gelombang yang dipancarkan. Pada kasus simulasi *metamaterial absorber*, port *waveguide* seakan-akan bertindak sebagai antena dengan ukuran sama dengan *metamaterial absorber* pada simulasi tersebut. Maka, $R_{ff} = 2D^2/\lambda$, dengan nilai D adalah seperti pada gambar, sedangkan nilai λ diambil dari frekuensi operasi pada batas atas. Bila disimulasikan pada frekuensi 0-6 GHz, maka batas atasnya adalah 6 GHz. Nilai R_{ff} yang didapat, dimasukkan pada kolom *upper Z distance*.



Gambar 27. Konfigurasi *Far-field*

- Set Port

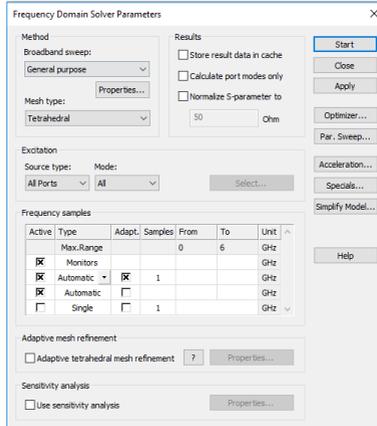
Dalam simulasi *metamaterial absorber*, S-parameter yang diperhatikan hanyalah S_{11} Parameter, karena itu, simulasi hanya membutuhkan satu port saja yang terpasang pada sudut datang normal.



Gambar 28. Set-up Port

- Setting Frequency Domain

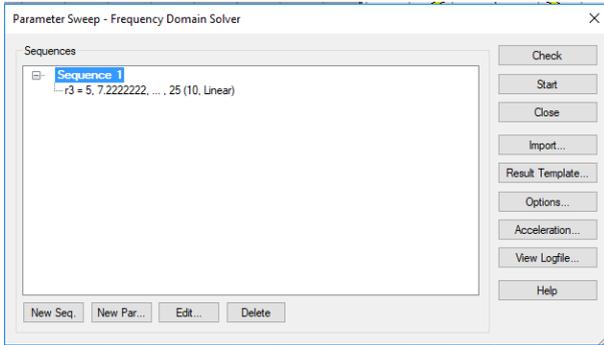
Untuk simulasi *metamaterial absorber*, dipilih *frequency domain*, karena dapat dipilih mode *tetrahedral*. *Tetrahedral* dipilih karena dapat memiliki bentuk fleksibel, sehingga dapat dilakukan simulasi dengan bentuk seperti segitiga, ataupun lingkaran. Sedangkan *hexahedral* membutuhkan ketelitian tinggi untuk simulasi pada bentuk seperti segitiga ataupun lingkaran, hal tersebut membutuhkan banyak waktu untuk simulasi.



Gambar 29. Pengaturan frekuensi

- Parameter Sweep

Untuk memudahkan dalam simulasi, digunakan *tool* yang bernama *parameter sweep*. *Tool* ini merubah parameter yang menjadi fokus pada satu kali *run* simulasi beberapa kali dan menampilkannya pada satu *window*. Sehingga dapat dilihat *tren* dan karakteristik dari parameter tersebut.



Gambar 30. Parameter sweep

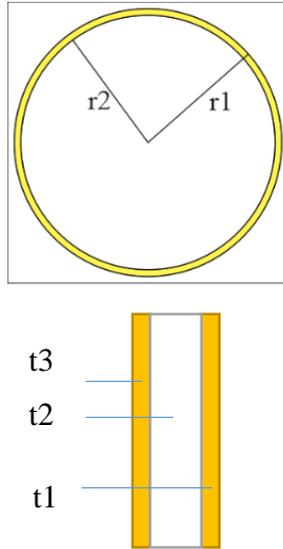
3.3 Desain

3.3.1 Unit Cell 1 (1 Ring)

Desain pertama yang dicoba adalah desain dasar berbentuk lingkaran dengan parameter tertera pada tabel berikut.

Tabel 7. Parameter unit cell 1

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	25
r2	24



Gambar 31. Desain unit cell 1

- **Ubah Parameter R1**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai R1 divariasikan untuk mengetahui pengaruh radius terluar terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 8. Parameter variasi R1 unit cell 1

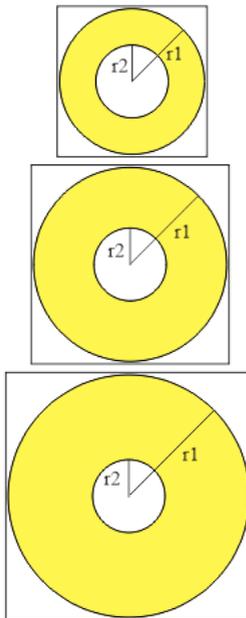
Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	20~50
r2	15

- **Ubah Parameter R2**

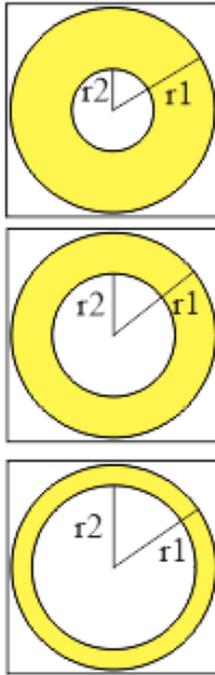
Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai R2 divariasikan untuk mengetahui pengaruh tebal ring terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 9. Parameter variasi r2 unit cell 1

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	25
r2	10~20



Gambar 32. Variasi r1 unit cell 1



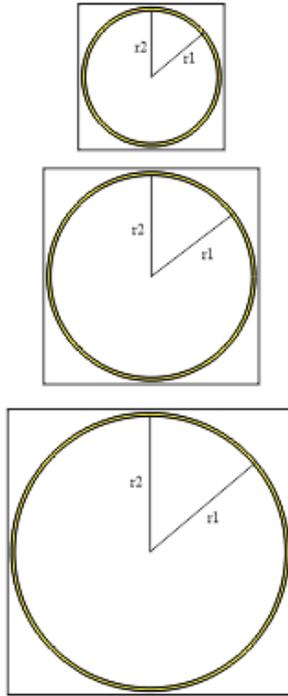
Gambar 33. Variasi r_2 unit cell 1

- **Ubah Parameter R1 dan R2**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai R1 dan R2 divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 10. Variasi r_1 & r_2 pada unit cell 1

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	20~50
r2	r1-1



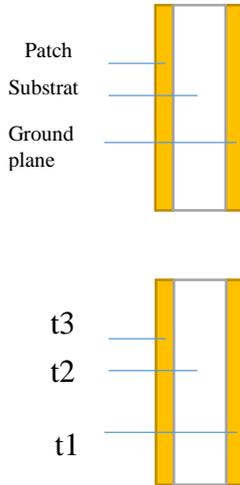
Gambar 34. Variasi r_1 & r_2 unit cell 1

- **Ubah Parameter t_2**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai t_2 divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 11. Parameter variasi t_2 unit cell 1

Parameter	Nilai (mm)
t_1	0.035
t_2	2~5
t_3	0.035
r_1	15
r_2	14



Gambar 35. Layer metamaterial absorber

- **Ubah Parameter t3**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai t3 divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 12. Parameter variasi t3 unit cell 1

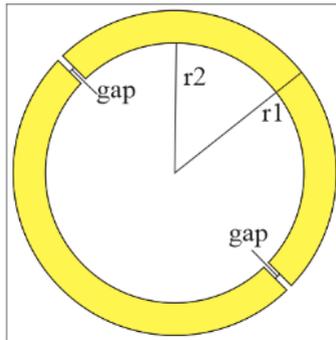
Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035~0.1
r1	20-50
r2	24

3.3.2 Unit Cell 2 (1 ring dengan gap)

Pada desain kedua, ditambahkan gap pada lingkaran yang telah didesain sebelumnya. Parameter tertera pada tabel berikut.

Tabel 13. Parameter unit cell 2

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	25
r2	20
g	1



Gambar 36. Desain unit cell 2

- **Ubah Parameter Lebar Gap**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 14. Parameter variasi lebar gap

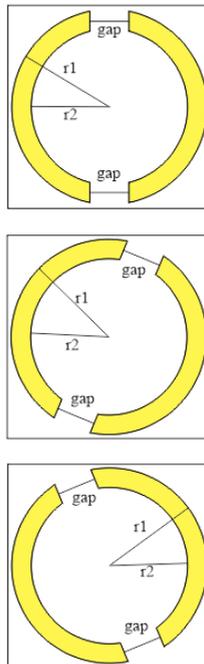
Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	25
r2	20
g	1-10

- **Ubah Parameter Sudut Gap**

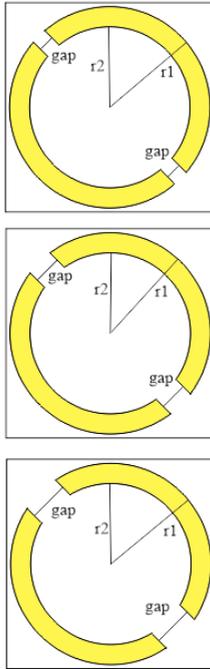
Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 15. Parameter variasi sudut gap

Parameter	Nilai
t1	0.035 mm
t2	2 mm
t3	0.035 mm
r1	25 mm
r2	20 mm
g	10 mm
s	0~180°



Gambar 37. Variasi sudut gap



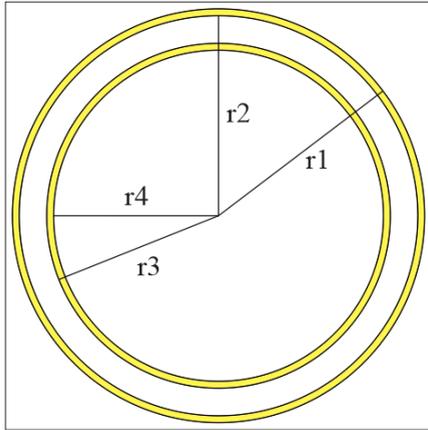
Gambar 38. Variasi lebar gap

3.3.3 Desain Unit Cell 3 (2 ring)

Setelah menguji dengan ditambahkan gap, kali ini diuji lingkaran dengan menggunakan 2 ring dengan tanpa gap terlebih dahulu.

Tabel 16. Parameter unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	30
r2	29
r3	25
r4	24



Gambar 39. Unit cell 3

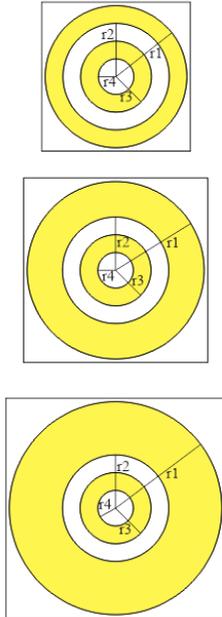
Setelah ditambahkan menjadi 2 ring, parameter yang perlu diuji pun menjadi lebih banyak. Dimulai dari radius terluar hingga radius terdalam. Selain itu, variasi ketebalan tiap ring juga dapat menjadi variasi untuk diuji.

- **Ubah Parameter R1**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 17. Parameter variasi $r1$ unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	20~30
r2	15
r3	10
r4	5



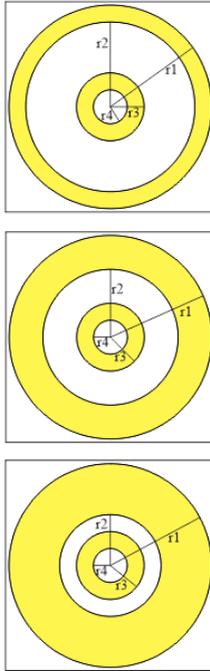
Gambar 40. Variasi r_1 unit cell 3

- **Ubah Parameter R2**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 18. Parameter variasi r_2 unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t_1	0.035
t_2	2
t_3	0.035
r_1	30
r_2	15~25
r_3	10
r_4	5



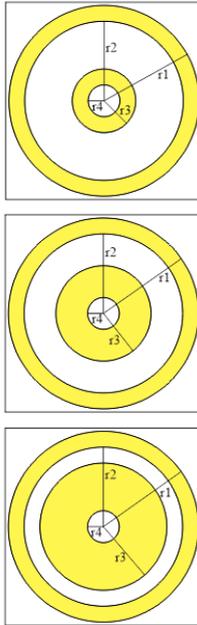
Gambar 41. Variasi r_2 unit cell 3

- **Ubah Parameter R3**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 19. Parameter variasi r_3 unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	30
r2	25
r3	10~20
r4	5



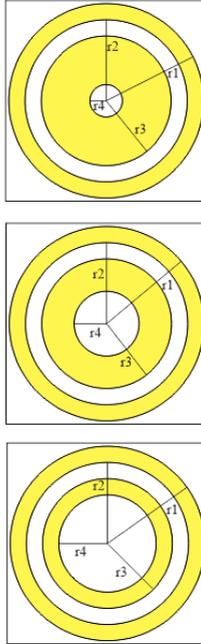
Gambar 42. Variasi r_3 unit cell 3

- **Ubah Parameter R4**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 20. Parameter variasi r_4 unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t_1	0.035
t_2	2
t_3	0.035
r_1	30
r_2	25
r_3	20
r_4	5~15



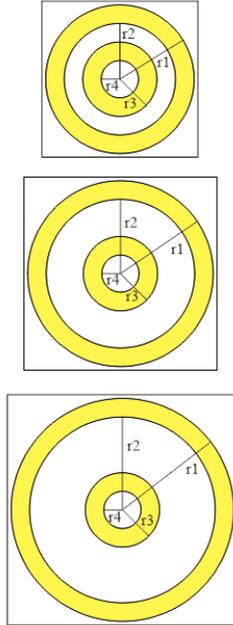
Gambar 43. Variasi r_4 unit cell 3

- **Ubah Parameter R1 dan R2**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 21. Parameter variasi r_1 & r_2 unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t_1	0.035
t_2	2
t_3	0.035
r_1	20~30
r_2	r_1-5
r_3	10
r_4	5



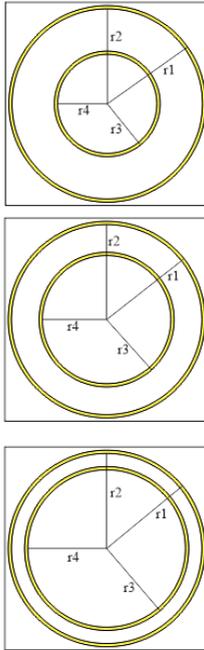
Gambar 44. Variasi r_1 & r_2 unit cell 3

- **Ubah Parameter R3 dan R4**

Dengan menggunakan *parameter sweep*, nilai g divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa *metamaterial absorber*.

Tabel 22. Parameter variasi r_3 & r_4 unit cell 3

Parameter	Nilai (mm)
t_1	0.035
t_2	2
t_3	0.035
r_1	30
r_2	29
r_3	5~25
r_4	r_3-1



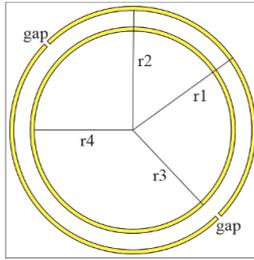
Gambar 45. Variasi r_3 & r_4 unit cell 3

- **Penambahan Gap pada Ring Terluar**

Pada ring terluar ditambahkan gap untuk melihat pengaruhnya terhadap *metamaterial absorber*.

Tabel 23. Parameter unit cell 3 dengan gap

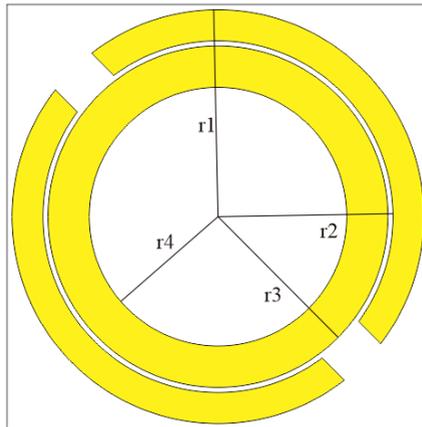
Parameter	Nilai (mm)
t1	0.035
t2	2
t3	0.035
r1	30
r2	29
r3	25
r4	24
g	1



Gambar 46. Unit cell 3 dengan gap

3.3.4 Unit Cell Final

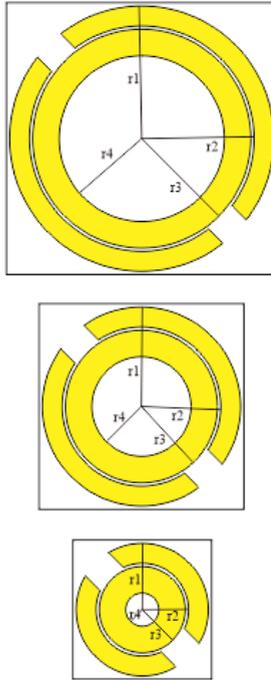
Berdasarkan hasil studi parameter yang diperoleh, dapat diketahui karakteristik dari parameter *unit cell*. Berdasar karakteristik tersebut, diperoleh desain *unit cell* yang dianggap paling baik.



Gambar 47. Unit Cell Final

- Ubah Parameter R1

Setelah diperoleh desain yang dirasa paling baik, selanjutnya dilakukan sweep parameter R1 untuk mengetahui frekuensi kerja dari desain *absorber* tersebut.

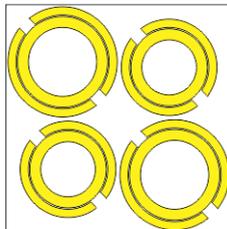


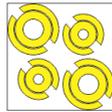
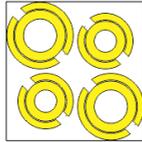
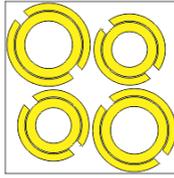
Gambar 48. Ubah Parameter R1 Unit Cell Final

3.4 Bandwidth Enhancement

- Desain Simetris Silang

Setelah diketahui frekuensi kerja dari masing-masing desain *absorber* berdasarkan nilai radius terluarnya, dicoba untuk memperlebar *bandwidth* dengan metode desain simetris silang. Dengan mencoba menggabungkan dua nilai radius terluar berbeda, pada pasangan nilai radius yang berbeda-beda pula.

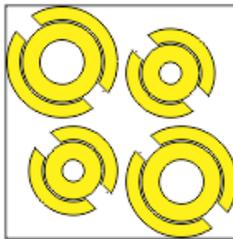




Gambar 49. Variasi *unit cell* simetris silang

- **Desain Silang Final**

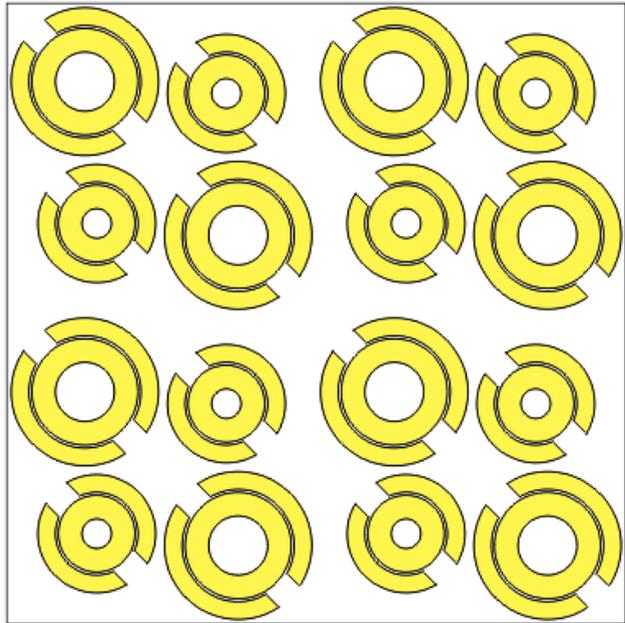
Dari variasi pasangan *unit cell* yang disusun silang, diperoleh satu jenis desain yang sesuai dengan spesifikasi target yang diinginkan pada tugas akhir kali ini.



Gambar 50. Desain silang final

- **Desain Periodik 1**

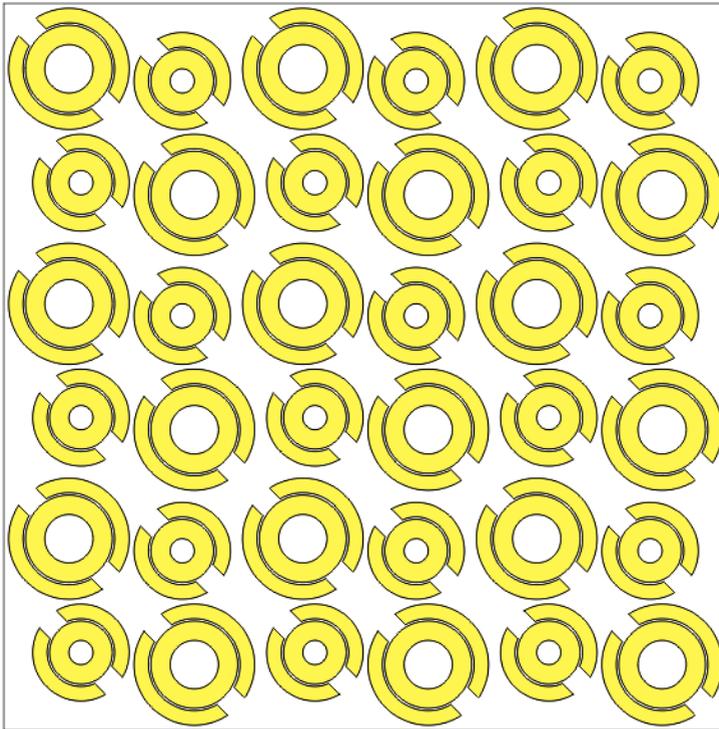
Setelah diperoleh desain silang yang memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan uji coba menyusun desain silang tersebut secara berulang atau periodik dengan *copy* sebanyak 2 x 2.



Gambar 51. Desain periodik 1

- **Desain Periodik Final**

Setelah dicoba dengan periodik 1, selanjutnya disusun periodik kembali dengan pengulangan yang lebih banyak menyesuaikan batasan ukuran untuk fabrikasi, yaitu $30 \times 30 \text{ cm}^2$. Sehingga diperoleh desain final yang akan difabrikasi yaitu desain simetris silang dengan pengulangan sebanyak 9 kali, atau disusun 3×3 .



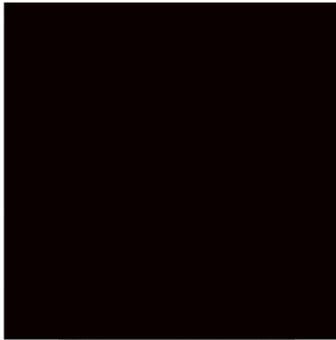
Gambar 52. Desain periodik final

3.4 Fabrikasi

Desain simulasi yang telah berhasil memenuhi spesifikasi target yang diinginkan diolah kembali untuk selanjutnya dikirim ke tempat fabrikasi. Tempat fabrikasi yang dipilih adalah SPECTRA yang bertempat di Kota Bandung. Desain simulasi yang akan difabrikasi diolah menjadi 2 bagian, yaitu bagian *ground* atau *full copper*, dan bagian atas atau *patch*.



Gambar 53. Patch fabrikasi



Gambar 54. Ground Plane fabrikasi



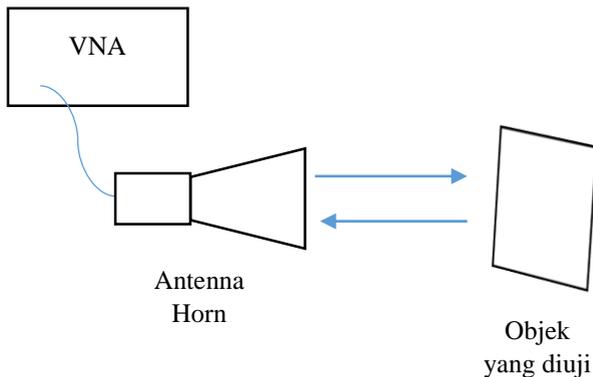
Gambar 55. Hasil fabrikasi

3.5 Pengukuran

Metamaterial absorber yang telah difabrikasi selanjutnya diukur untuk mengetahui performanya, dan juga untuk membandingkan hasil simulasi dengan hasil praktis, juga untuk membandingkan performa *metamaterial absorber* dibandingkan dengan *anechoic chamber*. Pengukuran tersebut dilakukan pada *anechoic chamber* yang bertempat di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang bertempat di Bandung.

Pengukuran dilakukan seperti pada gambar berikut. VNA (*Vector Network Analyzer*) terhubung pada antenna horn. Selanjutnya antenna horn akan memancarkan gelombang menuju objek yang diuji, yaitu *metamaterial absorber* dan *anechoic chamber*. Selanjutnya, melalui VNA dapat dilihat besarnya nilai S_{11} atau gelombang yang dipantulkan kembali. Untuk selanjutnya nilai tersebut dibandingkan dan dianalisa.

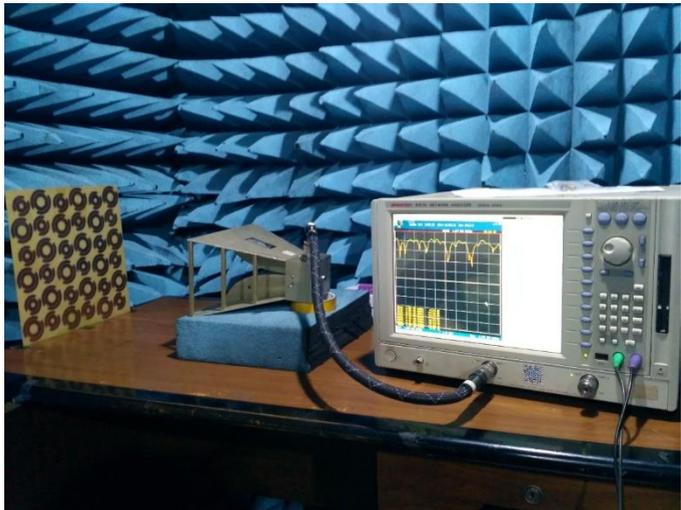
Pada pengukuran kali ini, dipilih antena horn yang telah dikalibrasi dengan VNA yang digunakan. Antena horn yang telah dikalibrasi menandakan antena dalam kondisi *matched* dengan VNA, sehingga nilai S_{11} dari antena dianggap sangat kecil dan diabaikan. Maka, nilai S_{11} yang tampak pada layar VNA merupakan nilai S_{11} dari objek yang diuji, yaitu *metamaterial absorber* dan *anechoic chamber*.



Gambar 56. Skema pengukuran



Gambar 57. Pengukuran Anechoic Chamber



Gambar 58. Pengukuran Metamaterial Absorber

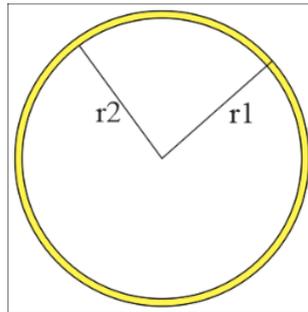
Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 4 Analisa

4.1 Simulasi *Metamaterial Absorber*

4.1.1 *Unit Cell 1 (1 Ring)*

Simulasi yang pertama dilakukan ialah simulasi pada desain *unit cell*. Selanjutnya, dari *unit cell* tersebut diperoleh hasil dari studi parameter berupa karakteristik dari *unit cell*.

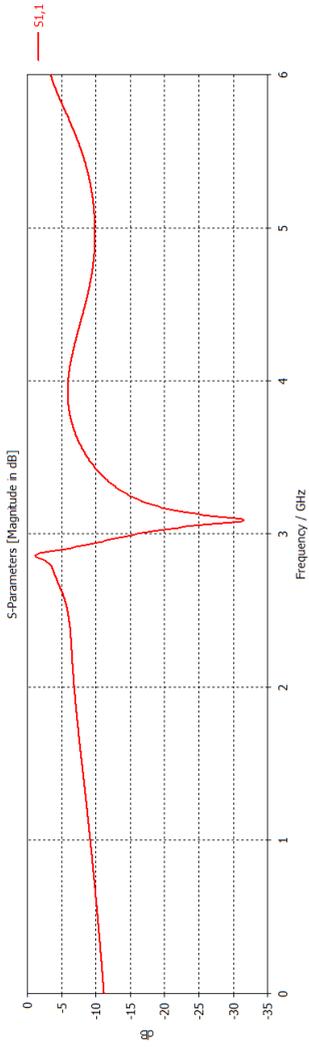


Gambar 59. *Unit cell 1*

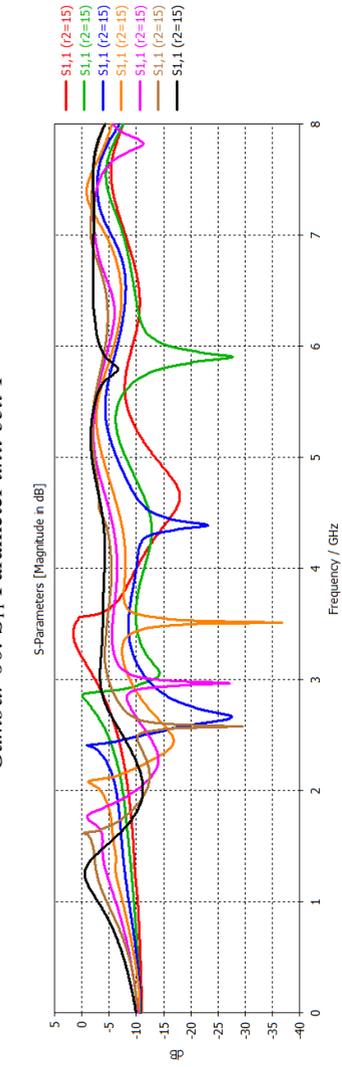
Berdasarkan hasil yang didapat, nilai S_{11} dibawah -10 dB berada pada rentang S-Band dan telah memenuhi target. Namun, lebar *band* yang dihasilkan masih sangatlah sempit, sehingga perlu modifikasi dari desain *unit cell* tersebut.

- **Ubah Parameter R1**

Hasil yang didapat adalah nilai r_1 mempengaruhi batas bawah dari frekuensi kerja *metamaterial absorber*. Semakin besar nilai r_1 mak semakin rendah batas bawah dari frekuensi kerja *metamaterial absorber*. Yang dimaksud batas bawah adalah dimana nilai S_{11} lebih kecil dari -10 dB. Namun, lebarnya *band* membentuk pola yang berubah-ubah, salah satu faktor penyebabnya adalah karena nilai r_2 yang tetap sehingga mengakibatkan tebal ring berbeda-beda sehingga lebar *band* pun berbeda-beda pula.



Gambar 60. S_{11} Parameter unit cell 1



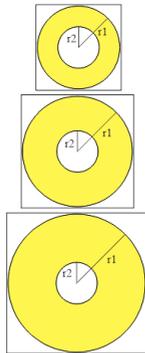
Gambar 61. S_{11} Parameter variasi $r1$ unit cell 1

- Ubah Parameter R2

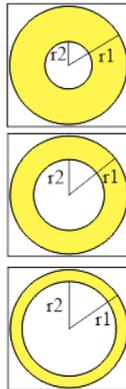
Hasil yang didapat dari variasi nilai r_2 adalah tidak berubahnya batas bawah dari frekuensi kerja. Ini semakin kuat mencirikan bahwa nilai r_1 yang mempengaruhi batas bawah dari frekuensi kerja. Sedangkan r_2 mempengaruhi lebar *band*. Semakin kecil nilai r_2 , atau semakin tebal ukuran ring, maka *band* yang dihasilkan akan semakin lebar.

- Ubah Parameter R1 dan R2

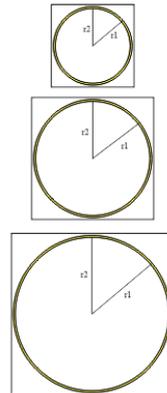
Hasil yang didapat dari variasi nilai r_1 dan r_2 adalah bergesernya batas bawah, namun dengan lebar *band* yang relatif tetap atau konstan. Hal ini mendukung hipotesa sebelumnya, bahwa nilai r_1 mempengaruhi batas bawah dari frekuensi kerja dan nilai r_2 mempengaruhi dari lebar *band*. Bila ingin menggeser frekuensi dengan lebar *band* yang konstan, yang harus dilakukan adalah menggeser r_1 bersamaan dengan r_2 dengan nilai tebal yang sama, atau selisih nilai r_1 dan r_2 yang sama.



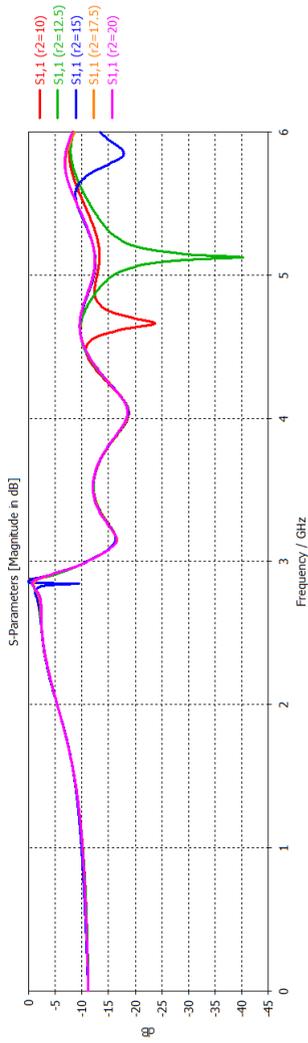
Gambar 64.
Variasi r_1
unit cell 1



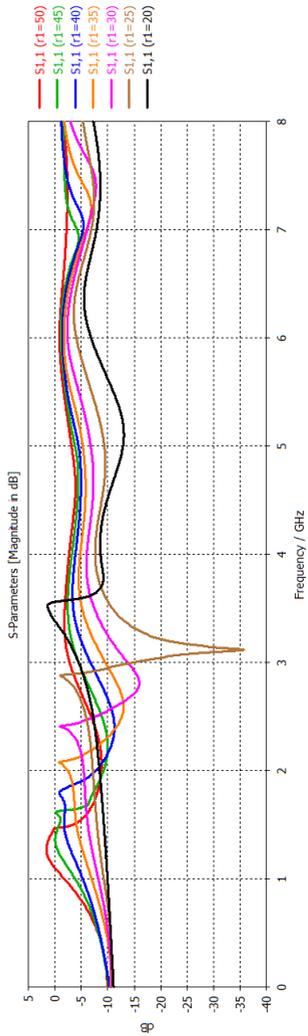
Gambar 63.
Variasi r_2
unit cell 1



Gambar 62.
Variasi r_1 & r_2
unit cell 1



Gambar 65. S_{11} Parameter variasi r_2 unit cell 1



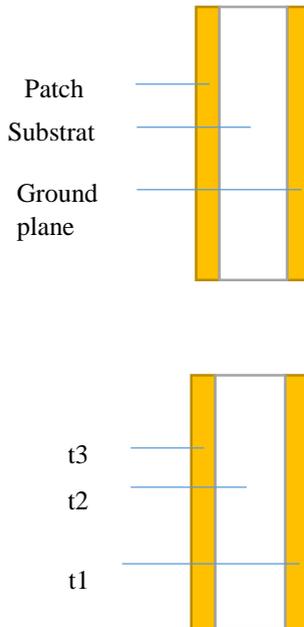
Gambar 66. S_{11} Parameter variasi r_1 & r_2 unit cell 1

Ubah Parameter t2

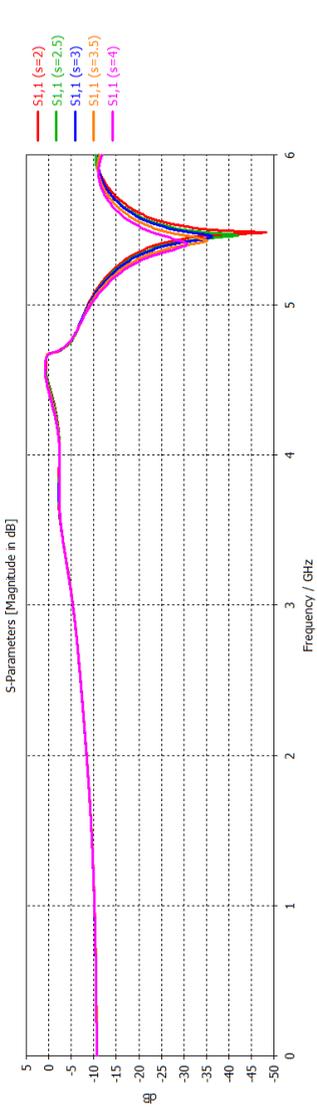
Hasil yang diperoleh dari perubahan parameter t2 atau tebal substrat tidak menimbulkan perubahan yang signifikan pada performa *metamaterial absorber*. Frekuensi maupun S_{11} Parameter cenderung tetap.

Ubah Parameter t3

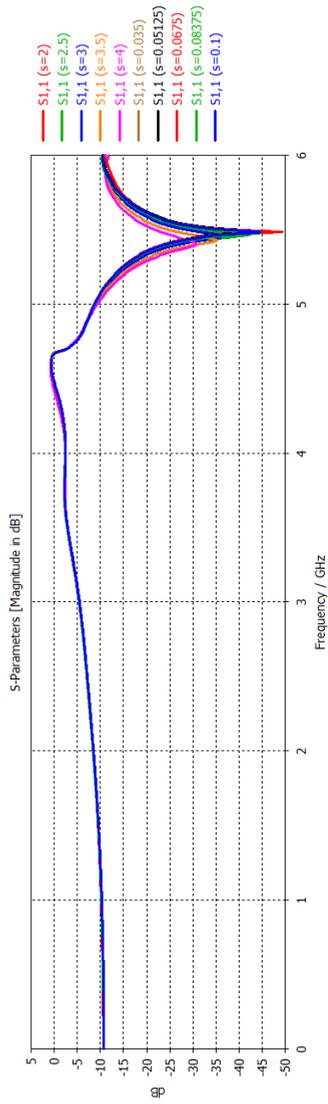
Hasil yang diperoleh dari perubahan parameter t3 atau tebal *patch* tidak menimbulkan perubahan yang signifikan pula pada performa *metamaterial absorber*. Frekuensi kerja maupun S_{11} Parameter nya juga cenderung tetap.



Gambar 67. Layer metamaterial absorber



Gambar 68. S_{11} Parameter variasi substrat



Gambar 69. S_{11} Parameter variasi patch

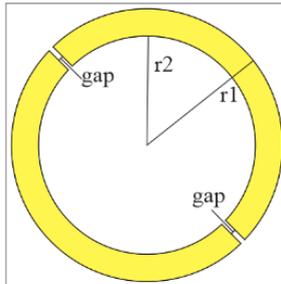
Hasil dari studi parameter *unit cell 1* terangkum pada tabel berikut.

Tabel 24. Studi parameter *unit cell 1*

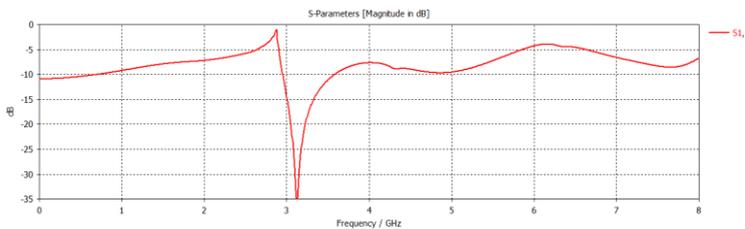
Parameter	Hasil
r1	Batas frekuensi
r2	Lebar Bandwidth
Tinggi substrat	Cenderung konstan
Tinggi patch	Cenderung konstan

4.1.2 Desain *Unit Cell 2* (1 Ring dengan gap)

Hasil yang diperoleh dari penambahan *gap* pada desain lingkaran 1 ring menghasilkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan lingkaran 1 ring tanpa gap. Frekuensi kerja tetap, namun nilai S_{11} cenderung menurun. Meskipun belum mencapai -10 dB, namun nilai tersebut cenderung turun.



Gambar 70. ring dengan gap



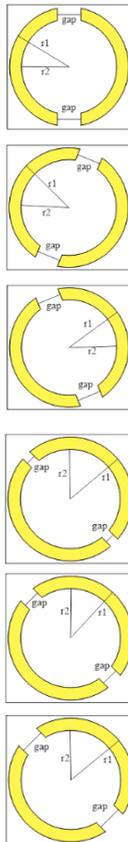
Gambar 71. S_{11} Parameter ring dengan gap

- Ubah Paramater Lebar Gap

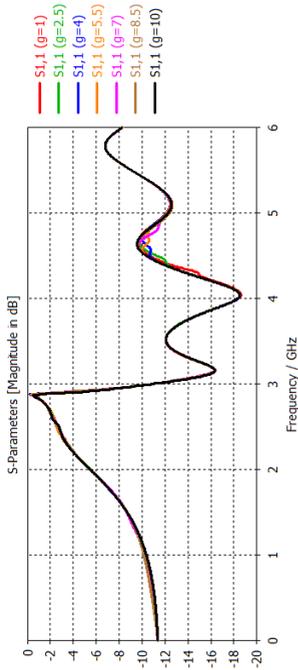
Hasil yang diperoleh dari perubahan lebar gap adalah tidak berubahnya batas frekuensi kerja dan S_{11} Parameter. Keduanya cenderung tetap meskipun *gap* semakin lebar.

- Ubah Parameter Sudut Rotasi Gap

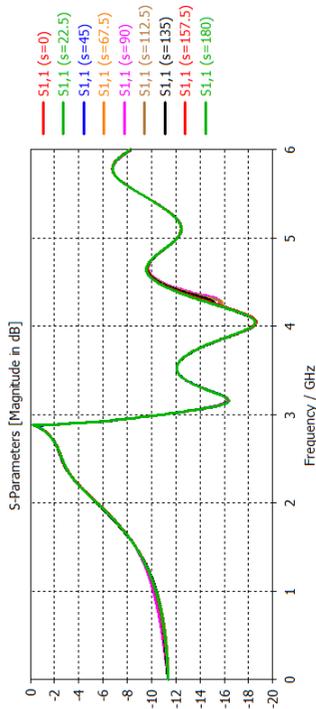
Hasil yang diperoleh dari rotasi sudut pun demikian. Batas frekuensi kerja dan nilai S_{11} Parameter cenderung tetap dan konstan. Dapat disimpulkan bahwa *gap* dapat mempengaruhi nilai S_{11} Parameter dibanding dengan ring tanpa gap, namun lebar dan sudut rotasi dari *gap* tidak berpengaruh signifikan terhadap performa *metamaterial absorber*.



Gambar 72. Variasi gap



Gambar 74. S₁₁ Parameter variasi lebar gap



Gambar 73. S₁₁ Parameter variasi sudut rotasi gap

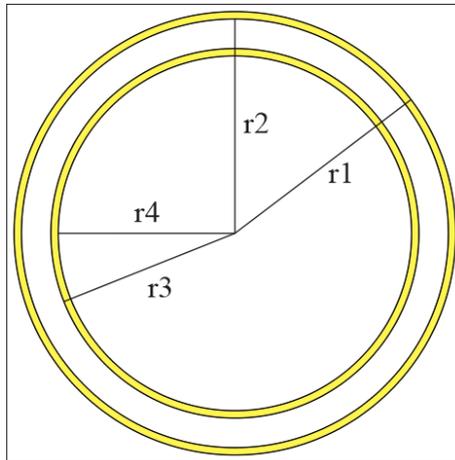
Hasil dari studi parameter *unit cell 2* terangkum pada tabel berikut.

Tabel 25. Studi parameter *unit cell 2*

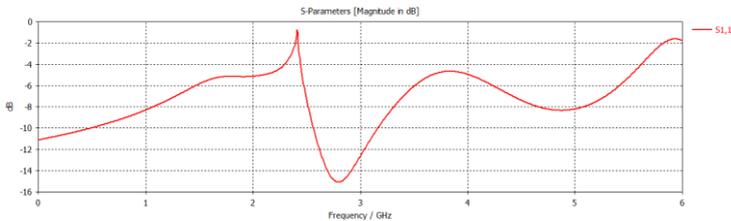
Parameter	Hasil
Gap	Cenderung konstan
Lebar Gap	Cenderung konstan
Sudut Gap	Cenderung konstan

4.1.3 Desain *Unit Cell 3* (2 Ring)

Adanya penambahan ring menjadi 2 ring mengakibatkan penambahan lebar *band* frekuensi kerja. Hal ini bermula dari penurunan nilai S_{11} Parameter di sekitar frekuensi kerja menjadi semakin kecil hingga mencapai nilai -10 dB dan menambah lebar *band* dari *metamaterial absorber*.



Gambar 75. *Unit cell 3*



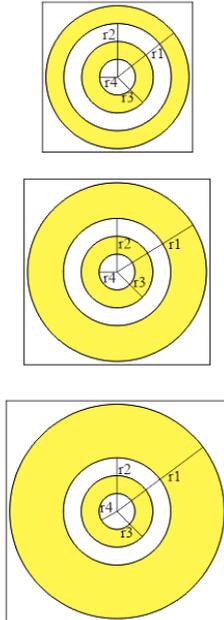
Gambar 76. S_{11} Parameter *unit cell 3*

- Ubah Paramater R1

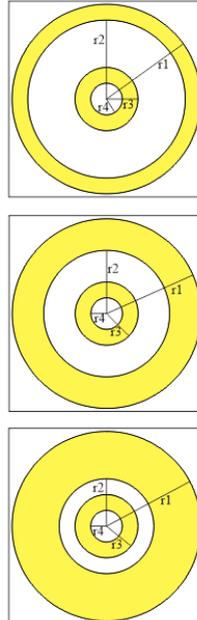
Hasil yang diperoleh dengan perubahan $r1$ tidak jauh berbeda dengan variasi $r1$ pada 1 ring. Yaitu nilai $r1$ mempengaruhi batas bawah dari frekuensi kerja *metamaterial absorber*. Semakin besar nilai $r1$, maka semakin rendah frekuensi kerja. Sebaliknya, semakin kecil nilai $r1$, maka semakin tinggi frekuensi kerja.

- Ubah Parameter R2

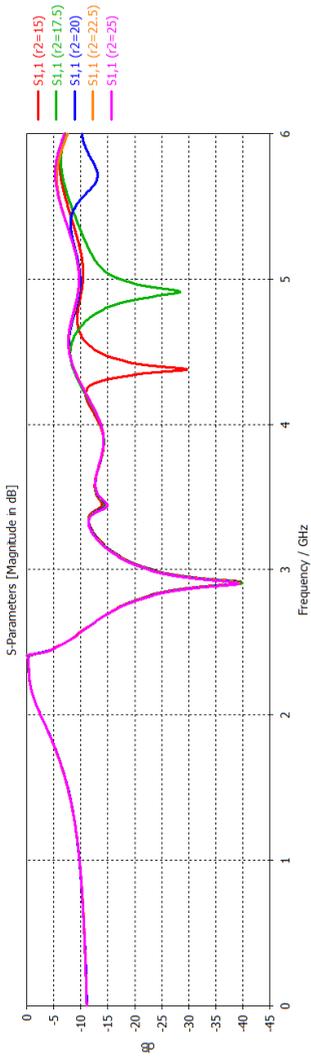
Hasil yang diperoleh dengan perubahan r_2 pun tidak jauh berbeda dengan variasi pada 1 ring. Nilai r_2 mempengaruhi lebar dari *band* frekuensi. Semakin besar nilai r_2 maka semakin lebar *band* frekuensi kerja.



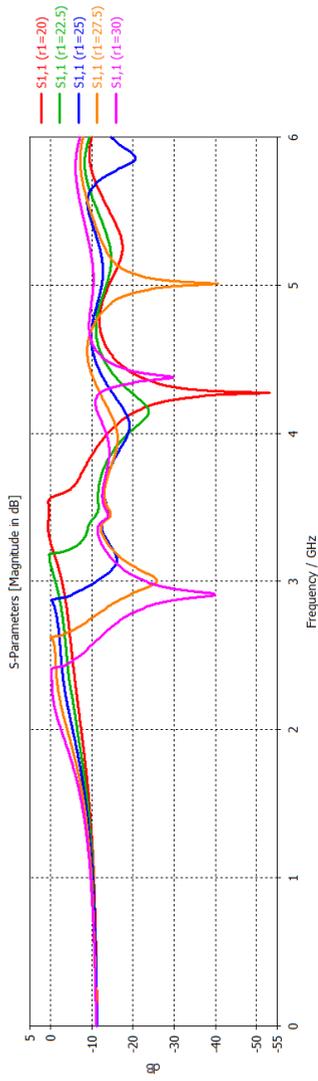
Gambar 78.
Variasi r_1
unit cell 3



Gambar 77.
Variasi r_2
unit cell 3



Gambar 79. $S_{1,1}$ Parameter variasi r2 unit cell 3



Gambar 80. $S_{1,1}$ Parameter variasi r1 unit cell 3

- Ubah Parameter R1 dan R2

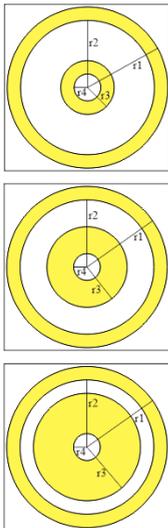
Hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan simulasi pada 1 ring. Dengan mengubah r_1 bersamaan dengan r_2 dan mempertahankan selisih keduanya, atau lebar dari ring, maka frekuensi kerja akan bergeser dengan mempertahankan lebar dari *band* frekuensi kerja.

- Ubah Parameter R3

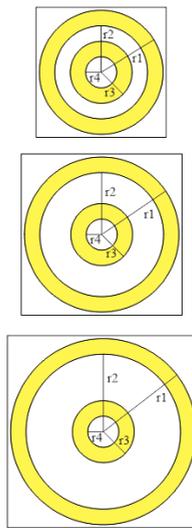
Hasil yang diperoleh dari perubahan r_3 adalah nilai dari frekuensi kerja dan S_{11} Parameter cenderung tetap.

- Ubah Parameter R4

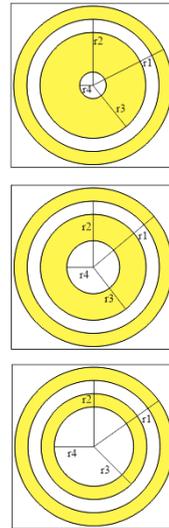
Hasil yang diperoleh dari perubahan r_4 adalah perubahan nilai S_{11} Parameter namun pada frekuensi diatas 4 GHz. Untuk rentang frekuensi S-Band cenderung memiliki nilai yang tetap.



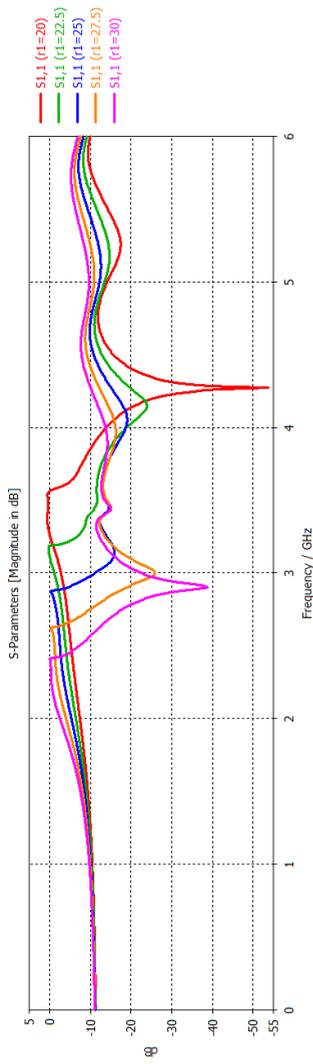
Gambar 83.
Variasi r_3
unit cell 3



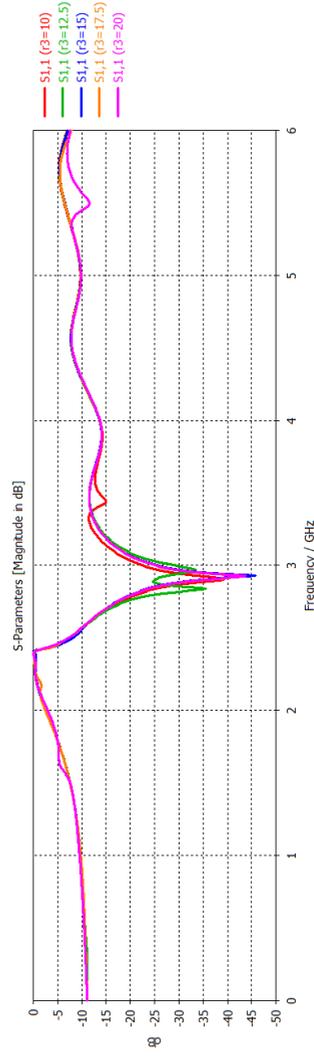
Gambar 82.
Variasi r_1 & r_2
unit cell 3



Gambar 81.
Variasi r_4
unit cell 3



Gambar 84. S₁₁ Parameter variasi r1 & r2 unit cell 3



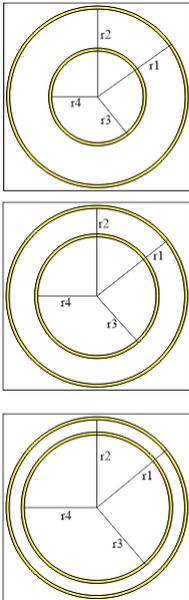
Gambar 85. S₁₁ Parameter variasi r3 unit cell 3

- Ubah Parameter R3 dan R4

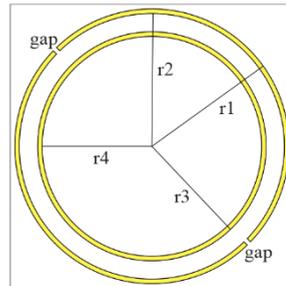
Hasil yang diperoleh dari perubahan r_3 dan r_4 secara bersamaan pun demikian. Batas dari frekuensi kerja dan nilai S_{11} Parameter cenderung tetap dan tidak berubah. Dapat disimpulkan bahwa penambahan ring menimbulkan pertambahan lebar *gap* namun besar dari ring tersebut tidak berpengaruh secara signifikan.

- Penambahan gap pada ring terluar

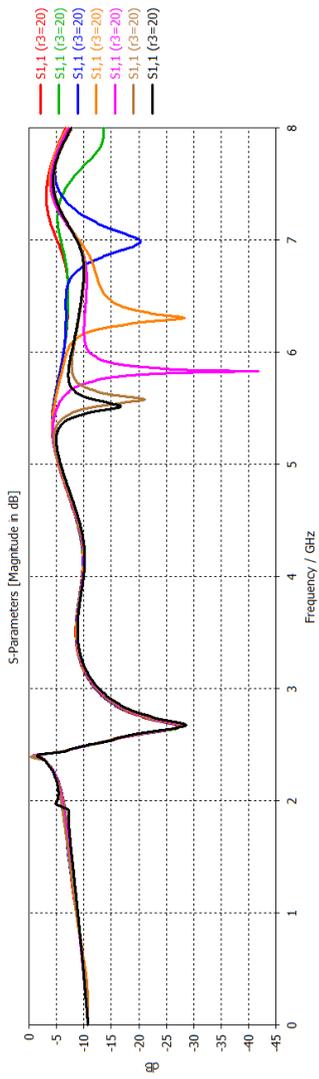
Hasil yang diperoleh dari penambahan gap pada ring terluar adalah bertambah lebarnya *band* frekuensi kerja. Hal ini dikarenakan penurunan nilai S_{11} Parameter disekitar frekuensi kerja yang mencapai nilai -10 dB, sehingga mengakibatkan *band* dari *metamaterial absorber* bertambah lebar.



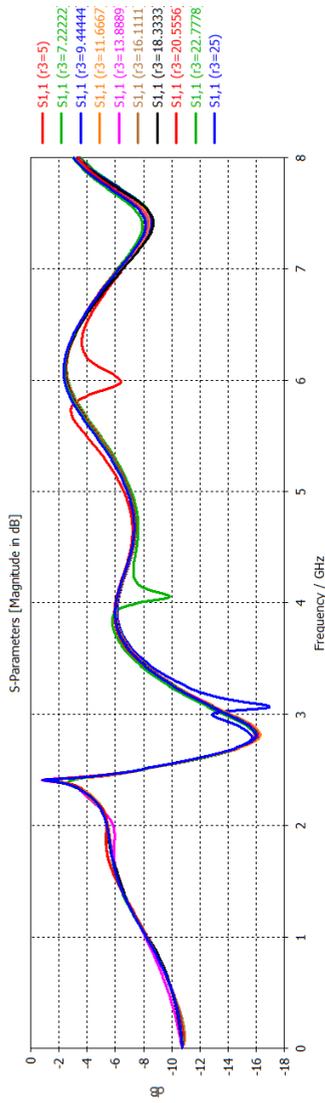
Gambar 87. Variasi r_3 & r_4 unit cell 3



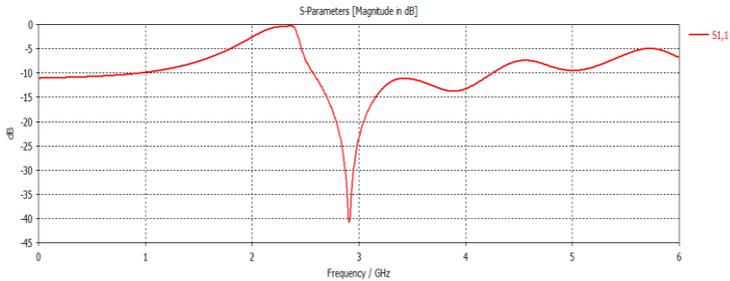
Gambar 86. Unit cell 3 dengan gap



Gambar 89. S_{11} Parameter variasi r4 unit cell 3



Gambar 88. S_{11} Parameter variasi r3 & r4 unit cell 3



Gambar 90. S_{11} Parameter penambahan gap

Hasil dari studi parameter *unit cell* 3 terangkum pada tabel berikut.

Tabel 26. Studi parameter *unit cell* 3

Parameter	Hasil
r1	Batas frekuensi
r2	Lebar bandwidth
r3	Cenderung konstan
r4	Cenderung konstan
2 ring	Lebar bandwidth
Gap ring luar	Lebar bandwidth

4.1.4 Unit Cell Final

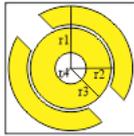
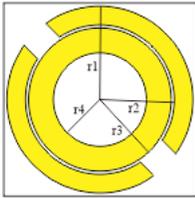
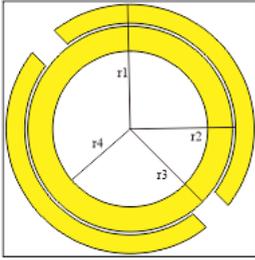
- Ubah Parameter R1

Hasil yang diperoleh dari studi parameter R1 pada *unit cell final* membuktikan bahwa pergeseran nilai R1 mengakibatkan pergeseran frekuensi.

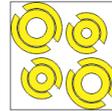
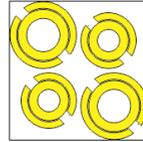
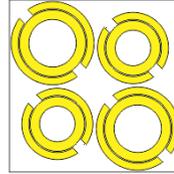
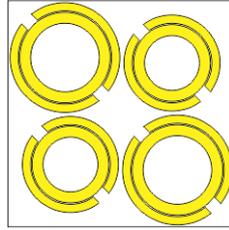
4.1.5 Bandwidth Enhancement

- Desain Simetris Silang

Hasil yang diperoleh dari susunan simetris silang dua *unit cell* yang berbeda adalah bertambah lebarnya *bandwidth*, namun frekuensi kerja dari *absorber* menjadi bergeser. Ini merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan.

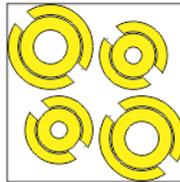


Gambar 91. Ubah parameter $r1$ unit cell final



Gambar 92. Desain simetris silang

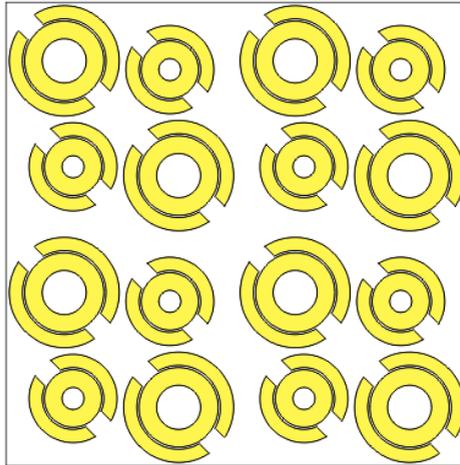
Dari variasi desain simetris silang yang ada, dengan memperhatikan *bandwidth* dan range frekuensi yang dibutuhkan, serta adanya faktor pergeseran frekuensi, didapatkan hasil *unit cell* yang memenuhi spesifikasi target pada gambar berikut.



Gambar 93. Desain simetris final

- Desain Periodik 1

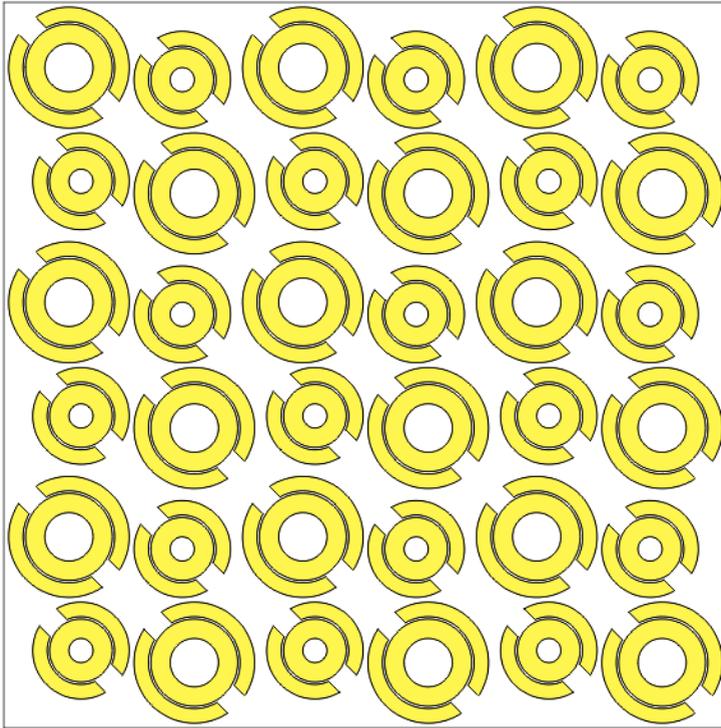
Desain simetris silang yang telah disusun periodik menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan sebelum disusun periodik. *Bandwidth* atau frekuensi kerja bertambah lebar, nilai S_{11} pun lebih baik dibanding sebelumnya, yaitu memiliki nilai pantul yang lebih kecil.



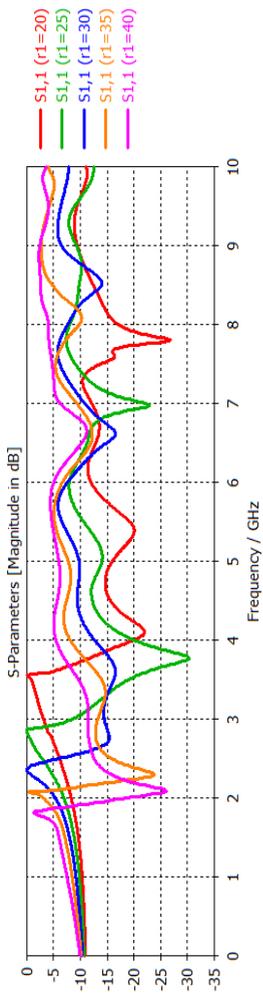
Gambar 94. Desain periodik 1

- Desain Periodik Final

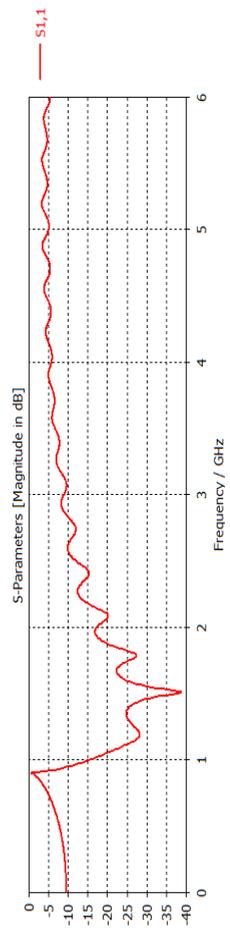
Hasil pada periodik yang terakhir pun menghasilkan *bandwidth* yang lebar dan nilai S_{11} yang semakin baik. Namun, ada beberapa titik pada frekuensi tertentu yang memiliki nilai S_{11} lebih buruk dari susunan sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada penyusunan periodik final, desain *cell* disusun lebih rapat untuk menyesuaikan dengan batasan ukuran $30 \times 30 \text{ cm}^2$.



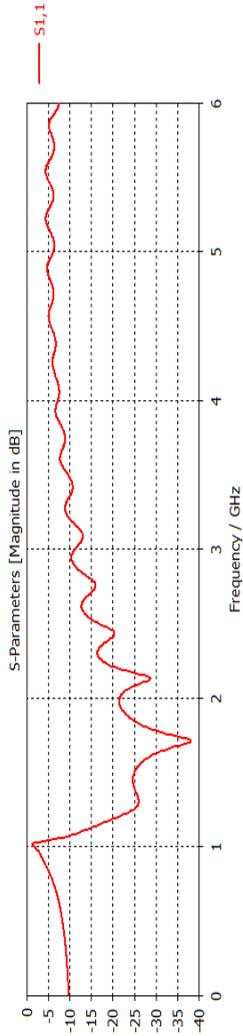
Gambar 95. Desain periodik final



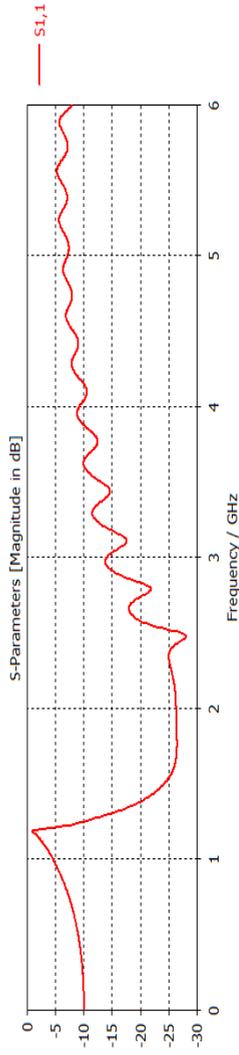
Gambar 97. S₁₁ Parameter unit cell final



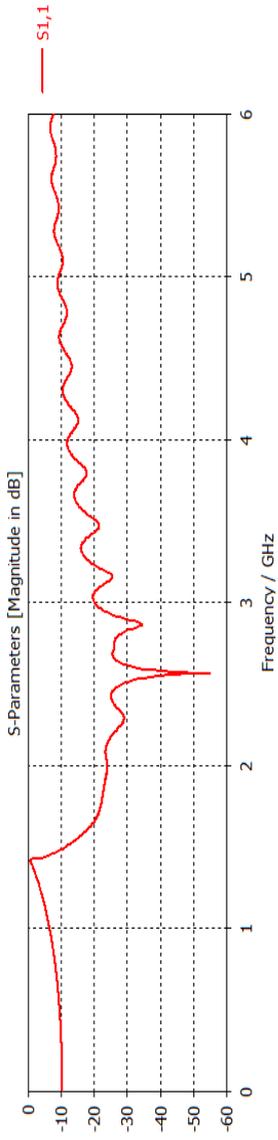
Gambar 96. S₁₁ Parameter simetri silang dengan r₁ 40 dan 35 mm



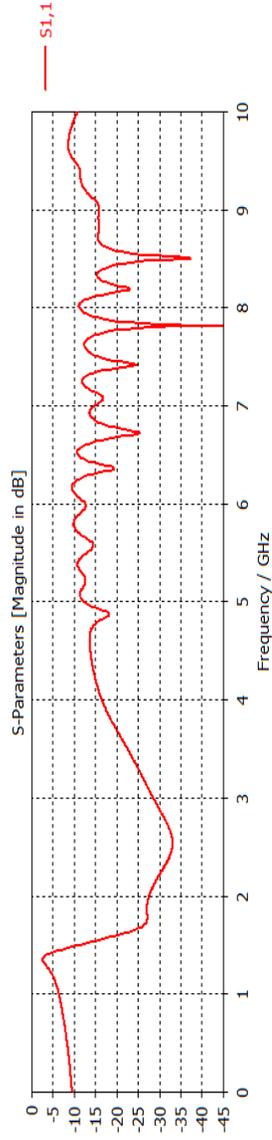
Gambar 98. S₁₁ Parameter simetri silang dengan r1 35 dan 30 mm



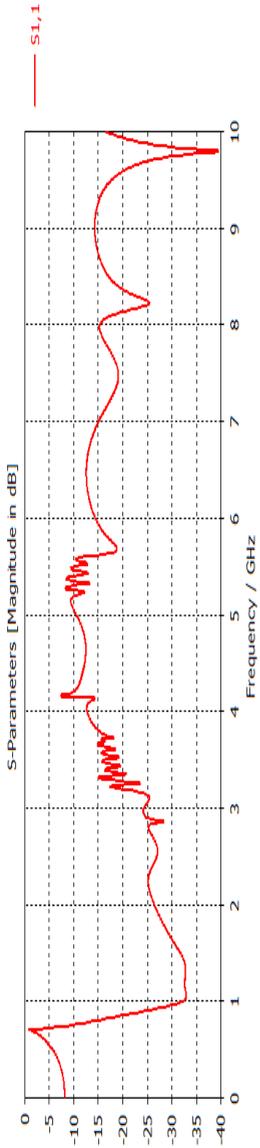
Gambar 99. S₁₁ Parameter simetri silang dengan r1 30 dan 25 mm



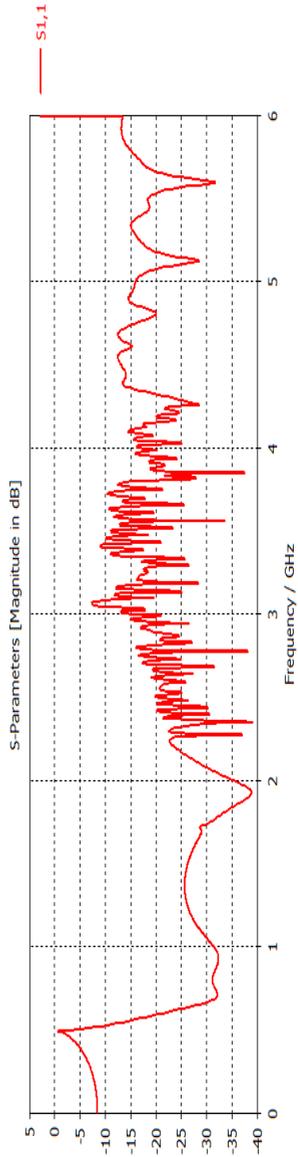
Gambar 101. S₁₁ Parameter simetris silang dengan r1 25 dan 20 mm



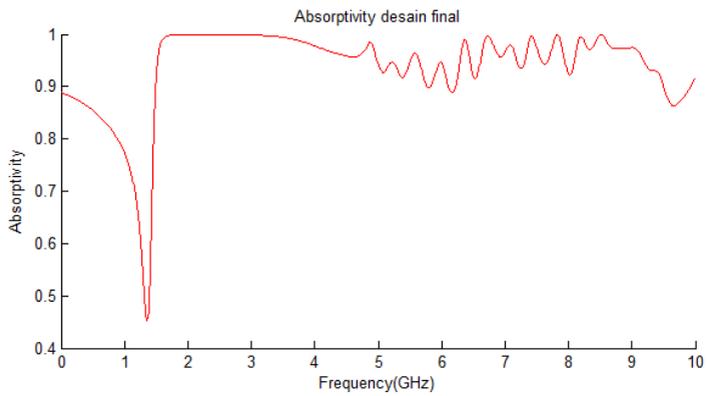
Gambar 100. S₁₁ Parameter simetris silang final



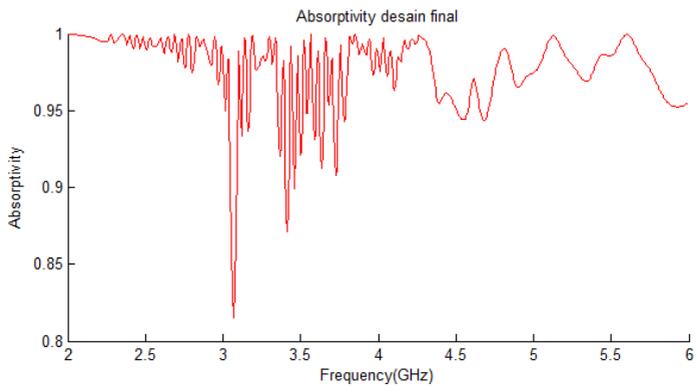
Gambar 103. S₁₁ Parameter desain periodik 1



Gambar 102. S₁₁ Parameter desain periodik final



Gambar 104. Absorptivity simetris silang final



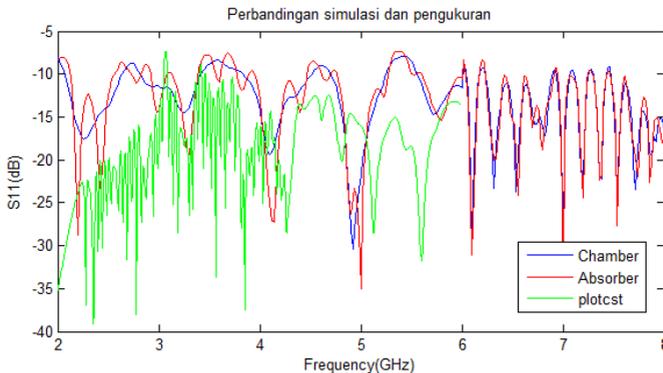
Gambar 105. Absorptivity desain final

4.2 Pengukuran

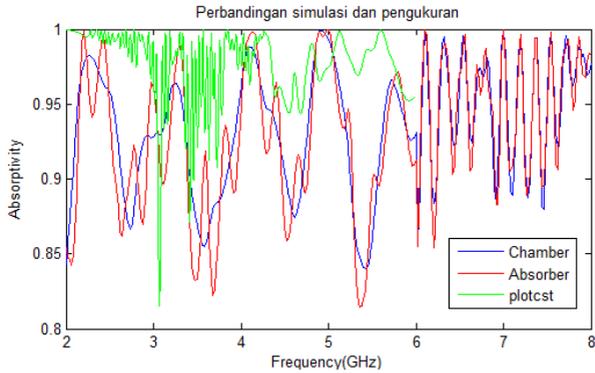
Parameter yang diuji pada pengukuran adalah S_{11} parameter dari *metamaterial absorber* yang telah difabrikasi. Nilai tersebut selanjutnya dibandingkan dengan performa *anechoic chamber* dan hasil pada simulasi. Hasil yang diperoleh adalah hasil simulasi memiliki nilai S_{11} yang paling baik, yaitu memiliki nilai yang terkecil. Sedangkan nilai S_{11} antara *metamaterial absorber* dan *anechoic chamber* tidak jauh berbeda, dimana performa *metamaterial absorber* yang dirancang cenderung lebih baik.

Selanjutnya, dari nilai S_{11} parameter yang didapat dapat diperoleh nilai *absorptivity* atau daya serap dari *absorber*. Dengan nilai *absorptivity* dari *metamaterial absorber* adalah diatas 80%.

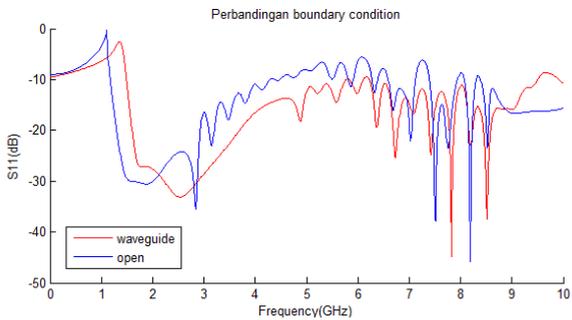
Perlu diperhatikan, kondisi pada pengukuran tidak sepenuhnya sama dengan kondisi simulasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada saat pengukuran, gelombang yang diradiasikan antenna tidak sepenuhnya mengenai objek yang diuji, terdapat gelombang yang tidak mengenai objek uji, atau biasa disebut *spilled over*. Sebagai analisa tambahan, ditambahkan hasil simulasi pada kondisi *spilled over* tersebut. Dimana hasil simulasi menunjukkan kondisi *spilled over* memiliki performa yang lebih buruk.



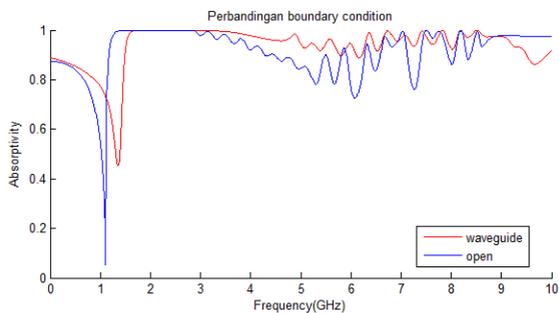
Gambar 106. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi



Gambar 107. Absorptivity pengukuran dan simulasi



Gambar 108. Perbandingan kondisi waveguide dan open/spilled over



Gambar 109. Absorptivity kondisi waveguide dan open/spilled over

4.3 Analisa Harga dan Ruang

Setelah dilakukan simulasi dan pengukuran, dapat diketahui performa dari *metamaterial absorber* yang dirancang. Selanjutnya, performa tersebut dibandingkan dengan performa dari barang yang tersedia di pasaran untuk dibandingkan harga dan ukurannya.

Bila ditinjau dari performa, performa material *anechoic chamber* memiliki kecenderungan lebih baik, namun pada beberapa frekuensi memiliki performa yang lebih buruk. Semakin baik performa *chamber* yang diinginkan, semakin mahal dan semakin besar ukuran ruang yang diperlukan.

Kelebihan dari penggunaan *metamaterial absorber* adalah memiliki harga yang cenderung lebih murah, dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat menyesuaikan performa dan frekuensi kerja yang diperlukan. Selain itu, *metamaterial absorber* memiliki dimensi ruang yang lebih kecil dan kemudahan pada instalasi. Sedangkan untuk material *chamber* cenderung bekerja pada frekuensi yang telah disediakan dan sulit untuk dilakukan penyesuaian.

Harga yang diperlukan untuk fabrikasi *metamaterial absorber* adalah sebesar Rp500 tiap cm². Cenderung lebih mahal bila dibanding tipe material *chamber* yang termurah, namun performa *metamaterial absorber* cenderung lebih baik dan dapat menyesuaikan.

Tabel 27. Tabel komparasi performa tipe absorber pyramid [9]

Grade	Performance versus frequency (GHz)								
	0.2	0.3	0.5	1.5	3	5	10	15	30
SA-50	-	-	-	-	17	30	35	40	40
SA-100	-	-	-	15	25	35	40	45	45
SA-200	-	-	-	25	35	40	45	50	50
SA-300	-	-	-	35	40	45	50	50	50
SA-400	-	-	25	40	45	47	50	50	50
SA-500	-	-	30	40	45	50	50	50	50
SA-600	-	25	35	40	50	50	50	50	50
SA-700	-	25	35	45	50	50	50	50	50
SA-1000	25	30	40	45	50	50	50	50	50

Tabel 28. Tabel komparasi ukuran tipe absorber pyramid [9]

Grade	Height (mm)	Base Height (mm)	Weight (kg/m ²)	Sheet size (mm)	Tips per unit	Units per m ²
SA-50	50	20	2.3	500 x 500	20 x 20	4
SA-100	100	30	3.8	500 x 500	12 x 12	4
SA-200	200	40	7.2	500 x 500	7 x 7	4
SA-300	300	50	11	500 x 500	5 x 5	4
SA-400	400	60	14	500 x 500	4 x 4	4
SA-500	500	75	18	500 x 500	3 x 3	4
SA-600	600	90	22	400 x 400	2 x 2	6.25
SA-700	700	100	25	250 x 500	1 x 2	8
SA-1000	1000	150	36	334 x 334	1 x 1	9

Tabel 29. Tabel komparasi harga absorber pyramid [10]

Model	Harga
SA-50	12.3 USD
SA-100	15.8 USD
SA-150	17.8 USD
SA-200	19.5 USD
SA-300	25.39 USD
SA-400	32 USD
SA-600	46.50 USD
SA-800	62 USD
SA-1000	74.45 USD

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 5

Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan hal-hal berikut :

1. *Metamaterial absorber* dapat menjadi alternatif dari *RF absorber* sebagai bahan dasar penyusun *anechoic chamber* dengan syarat nilai S_{11} berada dibawah -10 dB.
2. Untuk memenuhi S_{11} -10 dB dapat dilakukan dengan cara modifikasi desain *patch metamaterial absorber*.
3. Desain *unit cell* dilakukan untuk memperoleh range frekuensi kerja yang diinginkan.
4. Ukuran radius terluar mempengaruhi batas frekuensi kerja.
5. Jumlah ring mempengaruhi lebar *bandwidth* yang dihasilkan.
6. Penambahan *gap* pada lingkaran 2 ring mempengaruhi lebar *bandwidth*.
7. Susunan simetris silang dapat menambah lebar *bandwidth* namun perlu diperhatikan frekuensi kerja yang bergeser.
8. Susunan periodik mengakibatkan nilai S_{11} yang semakin kecil dan *bandwidth* yang cenderung bertambah lebar.
9. Kondisi *spilled over* menyebabkan nilai S_{11} yang kurang baik.

5.2 Saran

1. Perlu diperhatikan target implementasi *metamaterial absorber*, karena akan mempengaruhi performanya.
2. Diperlukan alat komputasi yang baik bila ingin merancang *metamaterial absorber* pada frekuensi tinggi ataupun desain yang kompleks.
3. Dengan kemampuan alat komputasi yang terbatas, disarankan memulai desain dari bentuk sederhana dan memperlebar *bandwidth* dengan metode susunan periodik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design* Third Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [2] J.D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel* Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- [3] Sushan Khadka, *Evaluation of Radio Anechoic Chamber*, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Bachelor's Thesis, April 2017.
- [4] Toan Trung Nguyen, Sungjoon Lim, "Bandwidth Enhancement of Metamaterial Absorber using Double Resonance", *Proceedings of 2017 Asia Pasific Microwave Conference*.
- [5] Saptarshi Ghosh, Somak Bhattacharyya, Devkinandan Chaurasiya, dan Kumar Vaibhav Srivastava, "An Ultrawideband Ultrathin Metamaterial Absorber Based on Circular Split Rings", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 14, 2015.
- [6] Alkesh Agrawal, Mukul Misra, Ashutosh Singh, "A Dual Broadband Metamaterial Absorber with Concentric Continuous and Split Rings Resonator Structure", *2016 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering (UPCON)* Indian Institute of Technology (Banaras Hindu University) Varanasi, India, Dec 9-11, 2016
- [7] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko, *RF Circuit Design Theory and Applications*, Prentice-Hall, 2000.

- [8]