

## DESAIN MODIFIKASI CANTENNA UNTUK OPTIMASI FEED ANTENA GRID 2.4 GHz

### *Cantenna Modification Design to Optimize Grid Antenna's Feed 2.4 GHz*

Pahrurrozi<sup>1</sup>, Cahyo Mustiko Okta Muvianto<sup>1</sup>, Suthami Ariessaputra<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram  
E-Mail: [mustiko\\_cahyo@yahoo.co.uk](mailto:mustiko_cahyo@yahoo.co.uk), [suthami@unram.ac.id](mailto:suthami@unram.ac.id)

#### ABSTRAK

Pada penelitian ini akan membahas tentang desain modifikasi *feed* antena *grid* 2,4 GHz untuk mendapatkan parameter *gain* antena yang optimum. Antena *grid* digunakan untuk transmisi dan menerima gelombang elektromagnetik pada frekuensi 2,4 GHz. *Feeder* sangat memengaruhi kualitas pancaran gelombang elektromagnetik, sehingga polarisasi *feeder* harus tepat. Metode optimalisasi dengan cara mengganti *feed point* menggunakan modifikasi *feeder* dengan cantenna. Modifikasi *feeder* ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas *gain* menjadi optimum.

Hasil dari simulasi modifikasi cantenna dapat meningkatkan parameter *gain* menjadi 24,41 dBi. Pola radiasi yang dihasilkan direksional dengan *beamwidth* sebesar 10,2° pada polarisasi vertikal dan *beamwidth* 7,1° pada polarisasi horizontal. *Bandwidth* antena yang diperoleh sebesar 99,4 MHz.

**Kata Kunci:** Cantenna, Feeder, Antena Grid, Gain

#### ABSTRACT

*This research will discuss about the design of feed modification of 2,4 GHz grid antenna to get optimal antenna gain parameters. Grid antennas are used for electromagnetic wave transmission and receiver that work at 2.4 GHz frequencies. Feeder can greatly affect the quality emission of electromagnetic waves, so the polarization of the feeder must be precise. Optimization method by replacing feed point using feeder cantenna optimization. This feeder modification is expected to improve the gain quality to be optimal.*

*The result of the modified feeder cantenna simulation can increase the gain parameter to 24.41 dBi. The resulting radiation pattern is directional with a beamwidth of 10.2° in vertical polarization and 7.1° in horizontal polarization. The antenna bandwidth obtained is 99.4 MHz.*

**Keywords:** Cantenna, Feeder, Grid Antenna, Gain

#### PENDAHULUAN

##### PENDAHULUAN

Perkembangan antena telah mampu menciptakan suatu perubahan besar dalam pelayanan telekomunikasi (Balanis, 2005). Antena berfungsi untuk memancarkan dan menerimigelombang radio (elektromagnetik) (Alaydrus, 2011).

Antena memiliki banyak jenis dari bentuk yang sederhana sampai bentuk yang sangat kompleks, setiap jenis memiliki karakteristik dan kegunaannya telah banyak diterapkan untuk kepentingan telekomunikasi, antara lain sebagai media transmisi *wifi* pada frekuensi 2,4 GHz.

Antena *grid* terdiri dari reflektor dan *dipole*  $\frac{1}{2}\lambda$  yang dibentuk sedemikian rupa. Antena *grid* mempunyai nilai *gain* sebesar 24 dBi. *Gain* yang lebih tinggi dapat dihasilkan dengan cara memodifikasi *feeder* antena.

Modifikasi *feed point* harus sesuai dengan model reflektor agar dapat menghasilkan *gain* yang tinggi dan memiliki polarisasi yang sama, untuk itu perlu dibuat desain perbandingan optimasi *feed point* menggunakan simulasi. Pada desain ini dibuat *feeder* dari beberapa tipe antena. Parameter antena yang menjadi standar optimasi adalah *gain*, S11, VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), *bandwidth* dan pola radiasi. Dari desain optimasi *feed point* tersebut diharapkan mampu memperoleh *gain* yang sesuai dengan antena referensi yaitu  $\geq 24$  dB dan pola radiasi *directional*.

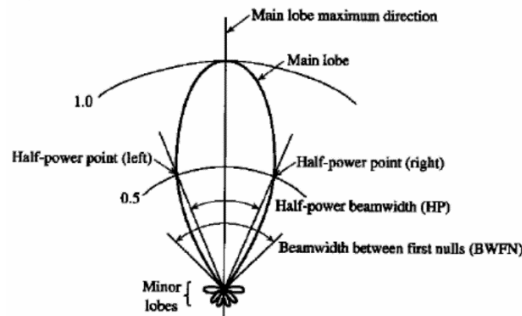
**Antena.** Antena adalah alat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara begitu juga sebaliknya (Balanis, 2005). Antena sebagai alat transmisi adalah mengubah gelombang tertuntun di dalam saluran transmisi kabel, menjadi gelombang yang merambat di ruang bebas, dan sebagai alat penerima maksudnya adalah mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun (Alaydrus, 2011).

Pada sistem komunikasi tanpa kabel yang modern, sebuah antena harus berfungsi sebagai antena yang bisa memancarkan dan menerima gelombang dengan baik untuk suatu arah tertentu (Stutzman, 1981).

**Pola Radiasi.** Pola radiasi (*radiation pattern*) antena adalah pernyataan secara grafis yang menggambarkan sifat/bentuk pancaran suatu antena (Alaydrus, 2011). Pada pola radiasi terdapat sebuah *lobe* maksimum yang dinamakan *main lobe* (*major lobe*). Sedangkan lobe kecil didekatnya disebut *minor lobe* (*side lobe*). Dari pola radiasi antena juga dapat diketahui HPBW (*Half power beamwidth*) dari antena. HPBW antena adalah sudut dari selisih titik-titik pada setengah pola daya dalam *main lobe*, yang dinyatakan dalam rumus:

$$HPBW = |\theta_{HPBW \text{ kiri}} - \theta_{HPBW \text{ kanan}}| \dots\dots\dots(1)$$

dengan:  $\theta_{HPBW \text{ kiri}} - \theta_{HPBW \text{ kanan}}$  = Titik-titik pada kiri dan kanan dari *main lobe* dimana pola daya mempunyai harga  $\frac{1}{2}$  (Stutzman, 1981).



Gambar 1. Pola radiasi (Stutzman, 1981).

Pengukuran pola radiasi pada suatu daerah dimana medan yang diradiasikan oleh antena sudah dapat dianggap sebagai tempat medan jauh apabila jarak antar sumber radiasi dan tempat itu telah memenuhi ketentuan persamaan berikut (Stutzman, 1981):

$$r > 2D^2 / \lambda \dots\dots\dots(2)$$

dengan syarat  $r \geq D$  (kondisi medan jauh) dan  $r \geq \lambda$

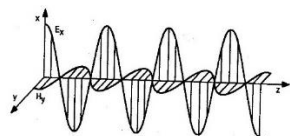
dengan:

$r$  = jarak pengukuran (m)

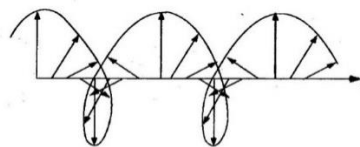
$D$  = dimensi antena yang terpanjang (m)

$\lambda$  = panjang gelombang yang dipancarkan sumber (m)

**Polarisasi.** Polarisasi antenna berfungsi untuk memberikan informasi arah medan listrik dalam perambatannya. Polarisasi terdiri dari dua macam yaitu polarisasi linier dan polarisasi eliptis (Alaydrus, 2011).



Gambar 2. Polarisasi linier (ke arah x/vertikal) (Alaydrus, 2011).



Gambar 3. Polarisasi eliptis (Alaydrus, 2011).

**Penguatan (Gain).** *Gain* menyatakan seberapa besar sebuah antena memfokuskan energi pancarannya. Perhitungan *gain* dalam persamaan (Alaydrus, 2011):

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \dots \dots \dots (3)$$

Dengan :  $G_t$  = *gain* antena yang dicari (dB)

$P_t$  = daya yang ditransmisikan (W)

$P_s$  = daya yang diterima (W)

$G_s$  = *gain* antena yang telah

diketahui (dB)

Atau jika dinyatakan dalam *decibel* dengan persamaan:

$$G_t(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) - P_s(\text{dB}) + G_s(\text{dB}) \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:  $G_s$  = *gain* yang ditransmisikan (dB)

$P_t$  = daya transmit (W)

$P_s$  = daya yang diterima (W)

$G_t$  = *gain* yang dicari (dB)

**Voltage Standing Wave Ratio.** Pengukuran VSWR berhubungan dengan pengukuran koefisien refleksi dari antena tersebut (Alaydrus, 2011). Perbandingan level tegangan yang kembali ke pemancar ( $V^-$ ) dan yang datang menuju beban ( $V^+$ ) ke sumbernya lazim disebut koefisien pantul atau koefisien refleksi yang dinyatakan dengan simbol " $\Gamma$ " atau dapat dituliskan pada persamaan:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} \dots \dots \dots (5)$$

Maka untuk perhitungan VSWR didapatkan persamaan dibawah ini.

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \dots \dots \dots (6)$$

Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match* (Alaydrus, 2011). Besar nilai VSWR yang ideal adalah 1.

**Lebar Band Frekuensi (Bandwidth).** Daerah frekuensi kerja dimana antena masih dapat bekerja dengan baik. (Alaydrus, 2011).

Apabila *bandwidth* dinyatakan dalam persentase, *bandwidth* antena dapat ditulis sebagai berikut:

$$BW = \frac{f_a - f_b}{f_c} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

$BW$  = *Bandwidth*

$f_a$  = Frekuensi atas

$f_b$  = Frekuensi bawah

$f_c$  = Frekuensi tengah

*Bandwidth* yang dinyatakan dalam persen ini biasanya digunakan untuk menyatakan *bandwidth* bidang sempit (*narrowband*), sedangkan untuk menyatakan *bandwidth* antena bidang lebar (*broadband*) biasanya digunakan definisi rasio antara batas frekuensi atas dengan frekuensi bawah yang dituliskan dengan persamaan berikut:

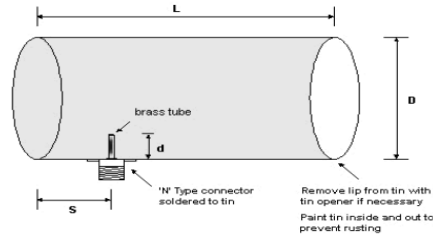
$$BW = \frac{f_a}{f_b} \dots \dots \dots (8)$$

Suatu antena digolongkan sebagai antena *broadband* apabila impedansi dan pola radiasi antena itu tidak mengalami perubahan yang berarti untuk  $f_a/f_b \geq 2$  (Stutzman, 1981).

**Cantenna.** Antena aperture menggunakan teknologi waveguide (pemandu gelombang), jenis yang sederhana adalah sebuah waveguide yang dipotong penampangnya dan dibiarkan terbuka. Energi masuk ke waveguide melalui konektor kabel koaksial. Cantenna merupakan salah satu tipe antena aperture, fungsi utama dari cantenna adalah untuk memfokuskan kemampuan sinyal menerima gelombang elektromagnetik dari perangkat komunikasi seperti internet, dan jaringan mobile.

Berikut ini ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan model cantena yang baik sebagai berikut:

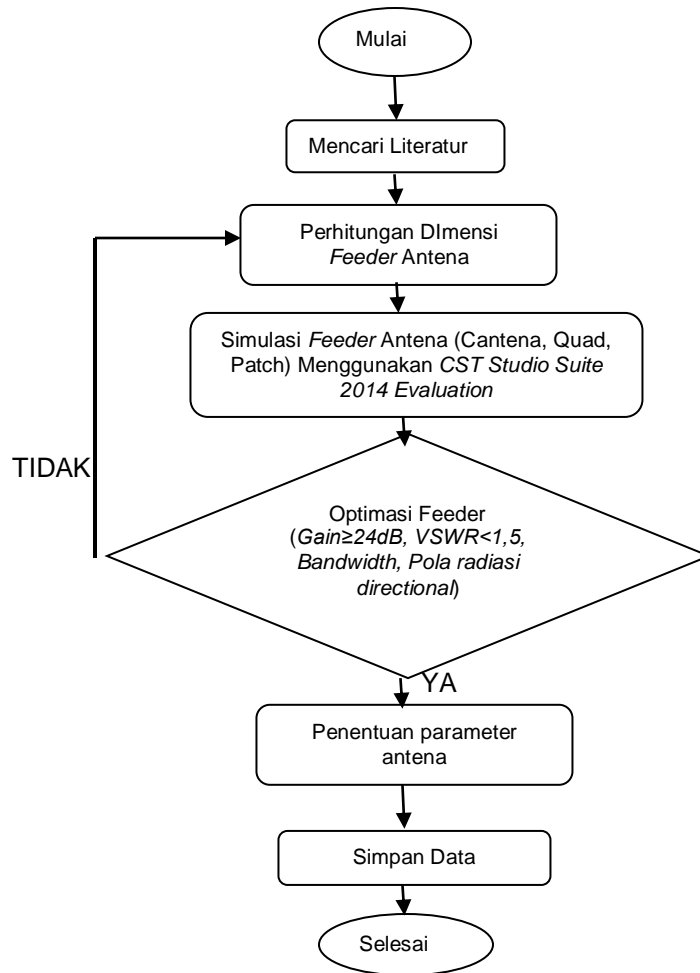
- a. Panjang antenna utama.
- b. Menghitung diameter kaleng.
- c. Menghitung panjang kaleng.
- d. Mencari posisi antenna utama dalam kaleng.



Gambar 4 Model Cantena (V.Kadu, 2012)

### METODE PERANCANGAN

Metode perancangan diterapkan agar mampu mendesain sesuai dengan parameter antenna dan mempunyai sifat yang match dengan saluran pencatu. Perancangan ini memodifikasi *feed point* (feeder cantena) untuk menghasilkan nilai *gain* antenna yang optimal pada frekuensi 2,4 GHz.



Gambar 5. Diagram Alir Simulasi Cantena

Pada optimasi *feeder*, parameter perbandingan yang menjadi standar optimum adalah *gain*, S11, VSWR, *Bandwidth*, dan pola radiasi. Optimasi feed point antenna terdiri dari:

- a. Mendesain *feed point* tipe antenna *aperture* menggunakan teknologi *waveguide* yaitu cantenna. Pada optimasi cantenna, dibuat cantenayang dimodifikasi dengan penambahan corong pada frekuensi 2,45 GHz. Penambahan corong berguna untuk mereduksi perubahan struktur dari *waveguide* yang berpotensi menyebabkan refleksi yang besar.
- b. Mendesain *feed point* dari *quad* antenna pada frekuensi 2,45 GHz. Pada optimasi *quad* antenna, dimodifikasi dengan model persegi panjangberbentuk angka delapan dan penambahan reflektor kecil berukuran 16x16 cm. Hal ini berfungsi untuk mendapatkan pola radiasi yang sesuai dengan bentuk reflektor. Antena ini terdiri dari dua kotak dengan ukuran  $\frac{1}{4}\lambda$  dan tinggi  $3 \times \frac{1}{4}\lambda$  sebagai elemen pemancar.
- c. Mendesain *feed point* dari antenna *patcharray* pada frekuensi 2,45 GHz. Pada optimasi *patch array*dimodifikasi dengan menggunakan *patch array* 2 x 6 mengarah ke atas. Hal ini berfungsi untuk mendapatkan pola radiasi yang sesuai dengan bentuk reflektor.

Modifikasi pada *feed point* antenna menggunakan perbandingan desain optimasi *cantenna*, *quad antenna*, dan *patch array* 2x6.

Tabel 1 Hasil perbandingan simulasi macam-macam *feed point* antenna.

Jenis Antena	Gain (dB)	S11	Bandwidth (MHz)
Cantenna+Reflektor grid	24,5	-20,31	90,9
Quad+Reflektor grid	22,19	-41,60	186,1
Patch+Reflektor grid	24,91	-26,37	42,7

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa desain *feed point* yang memiliki *gain* dan *bandwidth* yang paling baik adalah cantenna.

Secara sistematis prosedur simulasi modifikasi antenna *grid* 2,4 GHz dapat diuraikan sebagai berikut:

**Studi Literatur.** Merupakan tahapan mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan penelitian. Tahap ini dilakukan agar peneliti memiliki pengetahuan dasar yang kuat dan menjadi dasar untuk tahap simulasi optimasi antenna *grid* 2,4 GHz. Pada studi literatur, peneliti menghimpun buku, jurnal, maupun artikel yang berkaitan dengan teori reflektor, *feed point* (*Cantenna*, *Quad*, dan *patch*) antenna, dan penentuan titik fokus.

**Perhitungan Antena.** Perhitungan matematis antenna berfungsi untuk mengetahui bentuk dan ukuran suatu antenna, serta untuk memperhitungkan frekuensi kerja yang digunakan. **Menentukan Frekuensi Tengah.** *Range* frekuensi untuk komunikasi *wifi* adalah 2,4 - 2,5 GHz, agar antenna dapat bekerja optimal maka digunakan persamaan (9) untuk menentukan frekuensi tengah dari *range* frekuensi *wifi*:

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \dots\dots\dots(9)$$

$$f_c = \frac{2,5 + 2,4 \text{ GHz}}{2} = 2,45 \text{ GHz}$$

**Menentukan Panjang Gelombang (λ).** Panjang gelombang udara (λ) menggunakan persamaan (10) :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,45 \times 10^9} = 0,122 \text{ m} = 12,2 \text{ cm} \dots\dots\dots(10)$$

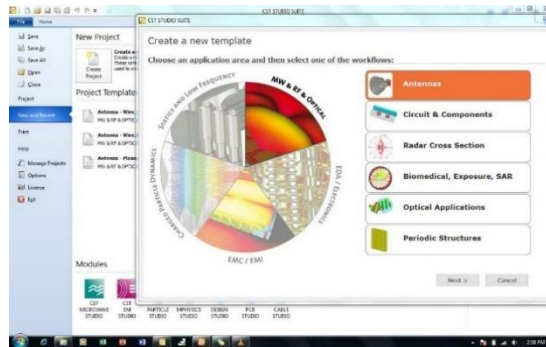
**Perhitungan titik fokus feed antenna.** Perhitungan penentuan penempatan titik fokus *feed point* antenna dapat menggunakan persamaan (11):

$$f_{tp} = \frac{D^2}{16d} \dots\dots\dots(11)$$

$$f_{tp} = \frac{120^2}{16 \times 18} = 50 \text{ cm}$$

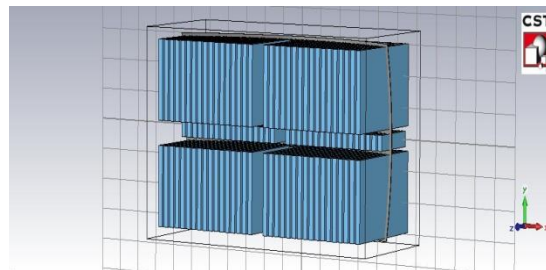
**Desain Optimasi Grid dengan Feed Point Cantena.** Setelah mendapatkan hasil perhitungan bagian-bagian pada antena, maka selanjutnya mendesain menggunakan *Software CST STUDIO SUITE 2014 Evaluation* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menjalankan *software CST STUDIO SUITE 2014 Evaluation*
- b. Memilih “*Project*” baru yang akan dibuat, dalam hal ini *project* yang dipilih adalah “Antena (*Waveguide* atau bisa *Wire*)” dalam hal ini, saya menggunakan *project waveguide*. Selanjutnya menentukan *units* (dimensi ukuran *project*).



Gambar 6. Tampilan *software CST STUDIO SUITE 2014 Evaluation*

- c. Membuat konstruksi reflektor *grid* dari bahan PEC dengan cara memilih menu *modeling*, selanjutnya memilih *sphere* untuk membuat pola setengah lingkaran bola pejal, untuk melobangi pola setengah lingkaran agar tidak pejal digunakan menu *shape tools > shells and sheets > shell solid or thicken sheet*. Menambahkan pola *brick* untuk membentuk pola persegi seperti reflektor *grid* dari bahan berbeda dari pada lingkaran setengah bola, pilih menu *boolean > intersect*. Untuk membentuk model *grid*, digunakan *brick* dengan model persegi panjang mengikuti pola *grid* sedemikian rupa. Bahan yang dipilih harus berbeda, kemudian pilih menu *boolean > subtract shape* sehingga terbentuk pola *grid* sesuai dengan model optimasi yang diinginkan. Hal yang perlu diperhatikan pada tahap pemodelan *grid* adalah ukuran setiap pelubangan dan yang pejal harus sama karena bisa mempengaruhi pola radiasi.



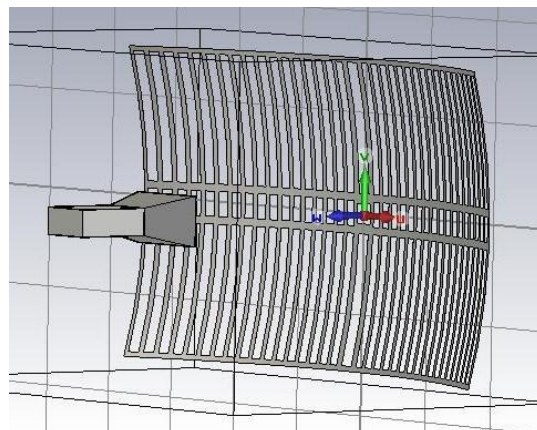
Gambar 7. Konstruksi Reflektor

- d. Membuat *feed* antena berupa cantena dengan menambahkan corong dengan cara, pilih *modeling > brick > tentukan ukuran sesuai dengan frekuensi kerja*, bentuk seperti persegi panjang dengan posisi tertutup pada kutub dan posisi terbuka pada salah satu kutubnya > menentukan *translation vector (X, Y, Z)*.
- e. Membuat port, panjang dan diameternya harus sesuai dengan perhitungan, port terdiri atas *outer*, *inner*, dan bahan dielektrik (berbentuk konektor). Membuat *outer*, dielektrik dan *inner* dengan cara memilih menu *cylindrical > menentukan luasan inner dan outer*. Selanjutnya Memilih menu *simulation* untuk membuat port, dalam desain ini digunakan *waveguide port > use pick* untuk menghubungkan secara otomatis arah sudut vektor.
- f. Menentukan *range frequency* dengan cara memilih menu *simulation*, kemudian pilih *frequency* dengan tujuan untuk menampilkan dimana frekuensi kerja antena yang di simulasikan pada *range frequency* tersebut.
- g. Mengatur hasil yang akan ditampilkan setelah melakukan *running program* yaitu meliputi S-

- Parameter*, pola radiasi, VSWR, *E-Fields* dan *H-Fields*, dengan cara pilih menu *Simulation>Field Monitors>E-Fields>H-Fields* dan *Farfields/RCS* diisi frekuensi kerja dari antena, untuk menampilkan parameter-parameter yang diinginkan.
- Melakukan *running* program dengan cara memilih menu *Simulation*, dan *Setup Solver*, pada menu *setup solver* akan muncul pengaturan *solver setting* dimana yang harus di ubah adalah “*accuracy*” menjadi -40 dB, dan *S-Parameter Settings* centang “*Normalize to fixed impedance*”, kemudian klik “*Start*”. Menu setting parameter sweep digunakan untuk simulasi menentukan S-Parameter terbaik.
  - Setelah *running* program selesai, didapatkan hasil meliputi *Return Loss*, pola radiasi serta VSWR.
  - Menyimpan hasil simulasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

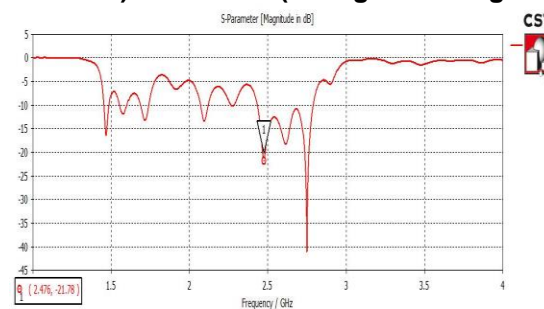
Setelah mendesain optimasi antena *grid* 2,4 GHz menggunakan *feedercantenna*, maka akan dilakukan pengujian (*running simulation*) untuk mengetahui parameter penting antena (*Gain*, pola radiasi, *bandwidth*, VSWR dan koefisien pantul/S11). Pada gambar 8 ditunjukkan bentuk dari rancangan optimasi feeder cantenna tersebut dengan reflektor.



Gambar 8. Desain modifikasi feeder cantenna dan reflector

Dari pengujian simulasi didapatkan parameter gain, pola radiasi (3D dan polar), S11 (koefisien pantul), VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) dan *bandwidth*.

### Hasil Simulasi S11 (Koefisien Pantul) dan VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

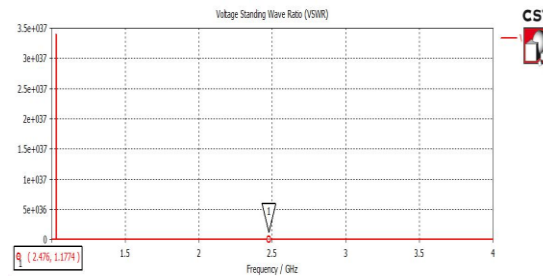


Gambar 9. S11 (koefisien pantul)

Pada gambar 9 dapat diamati hasil parameter S11 (koefisien pantul), didapatkan frekuensi tengah 2,476 = -21,78. Seperti yang diketahui pada teori, nilai koefisien pantul yang diharapkan semakin kecil semakin bagus karena refleksi dari antena tidak terlalu besar sehingga bisa memancarkan sinyal

gelombang elektromagnetik dengan baik.

Dalam aplikasinya sebuah antenna sering dianggap telah memiliki refleksi yang bagus jika faktor refleksinya  $r_{db} \leq -10$  dB atau  $|\Gamma| \leq 0,316$  (10% energinya direfleksikan kembali ke pemancar) dan nilai VSWR  $< 1,92$  [2], sehingga penempatan *marker* (tanda) pada nilai -10 dB dibatas atas ( $f_u$ ) dan batas bawah ( $f_l$ ).



Gambar 10.VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Pada gambar 10 dapat dianalisa bahwa S11 berkaitan satu sama lain dengan VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Semakin baik S11 maka nilai VSWR juga semakin baik.

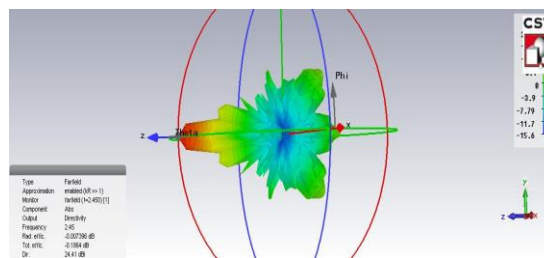
Perbandingan level tegangan yang kembali ke pemancar (V-) dan yang datang menuju beban (V+) ke sumbernya lazim disebut koefisien pantul atau koefisien refleksi yang dinyatakan dengan symbol “ $\Gamma$ ”.

Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match*[2]. Besar nilai VSWR yang ideal adalah 1.

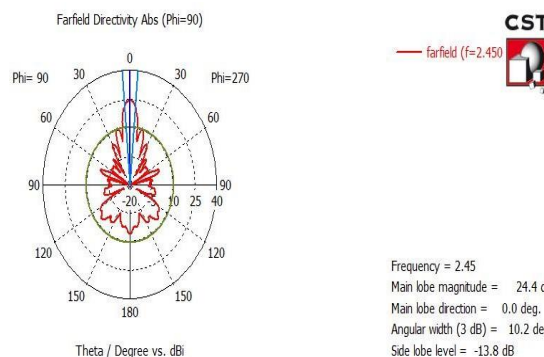
### Hasil Pengujian Pola Radiasi dan Gain

Pengujian pola radiasi pada simulasi meliputi pengukuran pola horizontal dan vertikal. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil pengukuran kuat medan untuk menggambarkan pola radiasi horizontal dan vertikal yang menghasilkan *beamwidth* yang berbeda.

Selain itu pada simulasi juga didapatkan pola radiasi dalam bentuk 3D dan polar.



Gambar 11.Pola radiasi (3D)



Gambar 12. Pola Radiasi (Polar)

Pada gambar 11 dan 12 didapatkan pola radiasi dalam bentuk 3 dimensi dan polar. Pada pola radiasi 3 dimensi didapatkan bentuk pancaran direksional dan diketahui penggambaran posisi medan terkuat dan terendah. Sedangkan pada bentuk pola radiasi polar didapatkan bentuk pancaran direksional dan diperoleh bentuk pancaran secara detail dan dapat kita ketahui *beamwidth* antenna.

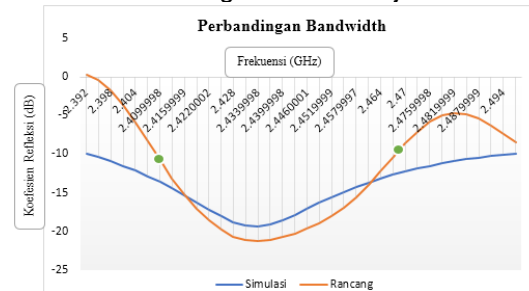
Dari hasil simulasi pola radiasi 3D dan polar didapatkan nilai gain sebesar 24,41 dBi. Nilai gain ini lebih



baik dari gain antenna grid di pasaran.

### Hasil Pengujian Lebar Bidang Frekuensi (*Bandwidth*)

Pada hasil desain pengujian *bandwidth* didapatkan *bandwidth* sebesar 90,9 MHz. *Bandwidth* pada simulasi didapatkan dengan cara menandai (marker) pada frekuensi atas dan frekuensi bawah. Rentang frekuensi atas dan bawah itu adalah lebar bidang frekuensi kerja atau biasa disebut *bandwidth*.



Gambar 13. Perbandingan *bandwidth*

### KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil simulasi modifikasi feeder optimasi cantenna, maka dapat disimpulkan bahwa sebelum dioptimalisasi nilai parameter *gain*, *bandwidth* hantena *grid* 2,4 GHz adalah 24 dBi, 83 MHz. Optimalisasi dilakukan dengan mengganti feed point dengan feeder dari optimasi cantenna.
2. Pada simulasi dihasilkan *gain* 24,41 dBi, *bandwidth* 99,4 MHz, dan pola radiasi direksional dengan *beamwidth* 10,2° pada polarisasi vertikal dan *beamwidth* 7,1° pada polarisasi horizontal.

### SARAN

Pada perancangan dan desain antena, perlu diperhatikan pengaruh komponen antena seperti konektor, serta bahan dasar antena seperti (*Perfect Electric Conductor* (PEC)) sehingga redaman atau rugi-rugi radiasi dapat dikurangi. Selain itu teknik *matching* yang digunakan harus diperhatikan untuk mengoptimalkan bentuk serta ukuran antena yang mempengaruhi kemampuan suatu antena.

Selain itu perlu juga memahami tentang model dimensi pada simulasi untuk memudahkan mendesain suatu antena.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adiyanto, Molin. 2008. Pembuatan Antena Wajanbolic. Proyek Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Alaydrus, Mudrik. 2011. Prinsip dan Aplikasi Antena, Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Balanis, C.A. 2005. Antenna Theory: Analysis and Design. Third Edition. Harper & Row: New York.
- Mooring, Tom. 2017. Table of Frequency Allocations. Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology Policy and Rules Division (FCC), 47 C.F.R. § 2.106, Revised, hlm 1 – 176.
- Steve. 2013. Element quad antenna, stevesblog.blogspot.co.id, diakses 12-06-2017.
- Stutzman, W.L. 1981. Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons: New York.
- V.Kadu, Vrushali. 2012. Manually Design Wi-Fi Cantenna and Testing in Real-Time Environment. International Journal of Engineering Research and Development (IJERD), Vol.3, No. 2, hlm 01-06.