

Desain Antena Mikrostrip Rectangular Array 2x1 untuk Radar Kapal

Bambang B. Harianto, M. Andra Aditiyawarman, Nyaris Pambudiyatno, Yuyun Suprpto
Politeknik Penerbangan Surabaya
Email: bambangfarzardy@gmail.com

Abstrak

Antena merupakan salah satu komponen vital dalam suatu pemancar atau penerima. Antena bekerja dengan mentransmisikan dan menerima gelombang elektromagnetik dari dan ke udara. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang saat ini sering diaplikasikan di beberapa peralatan sebagai salah satu antena alternatif dan inovasi antena dikarenakan proses fabrikasi yang mudah dan murah. Penelitian ini mencoba dan merealisasikan antena mikrostrip *rectangular patch* untuk radar kapal yang diketahui bekerja pada frekuensi S-Band (2.2 GHz) dengan mengikuti standarisasi spesifikasi antena radar yang dibutuhkan. Substrat yang digunakan pada antena ini adalah FR-4. Pada penelitian kali ini, penulis akan mencoba untuk mendesain dan menganalisa kinerja antena mikrostrip patch rectangular menggunakan aplikasi CST Studio Suite 2019 sebagai salah satu bentuk media pembelajaran antena alternatif pada frekuensi 2.2 GHz dan diharapkan memiliki nilai parameter VSWR ≤ 2 , dan nilai return loss ≤ 10 dB.

Kata Kunci : antena, mikrostrip, *patch rectangular*, radar kapal, 2.2 GHz

Abstract

Antenna is one of the vital components in a transmitter or receiver. Antenna works by transmitting and receiving electromagnetic waves from and to the air. Microstrip antenna is one type of antenna that is currently often applied in several equipment as an alternative antenna and antenna innovation due to the easy and inexpensive fabrication process radar. This research tries and realizes a rectangular patch microstrip antenna for ship radar which is known to work at the S-Band frequency (2.2 – 4.3 GHz) by following the standardization of the required radar antenna specifications. The substrate used in this antenna is FR-4. In this study, the author will try to design and analyze the performance of a rectangular patch microstrip antenna using the CST Studio Suite 2019 application as a form of alternative antenna learning media at a frequency of 2.2 – 4.3 GHz and is expected to have a VSWR parameter value 2, and a return loss value. 10 dB.

Keywords: antenna, microstrip, rectangular patch, ship radar, 2.2 – 4.3 GHz

PENDAHULUAN

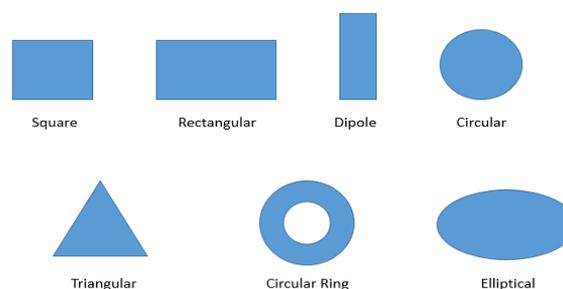
Radio Detection and Ranging (Radar) untuk kapal merupakan peralatan navigasi elektronik terpenting dalam pelayaran. Pada dasarnya Radar berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur jarak suatu objek di sekitar area kapal. Penggunaan Radar diharapkan mampu mengawasi aktifitas kapal-kapal laut sehingga mampu meminimalisasi tindakan yang merugikan seperti tabrakan antar kapal atau sejenisnya. Saat ini juga marak terjadinya tindak kejahatan di wilayah

perairan Indonesia seperti *illegal fishing*, *illegal logging*, penyelundupan BBM dan lain-lain. Sehingga diperlukan suatu mekanisme keamanan yang dapat menjaga wilayah perairan Indonesia. Salah satunya dengan mengimplementasikan sistem Radar untuk mendeteksi kapal-kapal yang melewati wilayah perairan Indonesia.

Antena berfungsi untuk mengirimkan gelombang radio dan menerima gelombang radio baik pada frekuensi yang sama atau di sebuah rentang frekuensi. Industri antena terus berkembang dan berbagai jenis antena telah diproduksi untuk memenuhi tuntutan teknologi telekomunikasi tanpa kabel (*wireless*) yang semakin maju. Salah satu jenis antena tersebut adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip adalah antena gelombang mikro di mana elemen peradiasi (*patch*) menempel di atas elemen pentanahan (*ground plane*) yang diantaranya terdapat elemen substrat (*substrate*) berupa bahan dielektrik. Beberapa spesifikasi yang harus dipenuhi oleh antena mikrostrip pada radar kapal adalah *gain* yang tinggi, *bandwidth* yang lebar, dan pola radiasi yang baik.

Berdasarkan asal katanya, mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu micro (sangat tipis/kecil) dan strip (bilah/potongan). Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk difabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain. Karena sifat yang dimilikinya, antena mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat di-integrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah.

Bentuk konduktor bisa bermacam-macam tetapi yang pada umumnya digunakan berbentuk empat persegi panjang dan lingkaran karena bisa lebih mudah dianalisis. Adapun jenis-jenis antena mikrostrip terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model Patch Antenna Mikrostrip

Ide antena patch mikrostrip muncul dari memanfaatkan teknologi sirkuit cetak tidak hanya untuk komponen sirkuit dan saluran transmisi tetapi juga untuk memancarkannya elemen sistem elektronik. Geometri dasar. Antena mikrostrip terdiri dari tambalan logam yang dicetak pada substrat ground dan diberi feed terhadap ground. Bentuk patch pada prinsipnya bisa berubah-ubah. Diantaranya persegi panjang, lingkaran, equitriangle, dan cincin annular adalah bentuk yang umum.

Metode feeding dalam antena mikrostrip terdapat berbagai macam metode yang dibagi menjadi menjadi dua yaitu contacting (terhubung) dan non contacting (tidak terhubung). Dalam metode contacting (terhubung) RF power langsung disalurkan dalam patch dan akan dipancarkan seperti microstrip line sedangkan dalam metode non contacting kopling medan elektromagnetik dilakukan untuk mentransfer daya antar garis mikrostrip dan patch yang akan memancar. Pembahasan kali ini akan membahas 4 metode antena mikrostrip yaitu line feed mikrostrip, probe feed mikrostrip proximity fed mikrostrip, aparture coupled mikrostrip.

Parameter yang terpadat pada antena mikrostrip diantaranya yaitu; S-Parameter yang digunakan untuk mengkarakterisasi sirkuit frekuensi tinggi sebagai pengganti impedansi atau parameter penerimaan. Ini digunakan untuk memodelkan N-port linear jaringan listrik sedangkan feedline digunakan untuk penghubung antara patch yang berfungsi menerima atau memancarkan gelombang elektro magnetik. Selanjutnya impedance matching adalah salah satunya aplikasi signifikan yang memainkan peran penting dalam meningkatkan kinerja sistem. Untuk menjamin daya maksimum ditransfer antara sumber dan bak cuci dari suatu sistem dipastikan bahwa mereka cocok dengan benar. Penentuan lebar pada patch (W_p) menggunakan rumus:

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

Dimana c merupakan kecepatan cahaya dan f_0 merupakan nilai frekuensi yang diinginkan sedangkan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik bahan yang digunakan. Perhitungan panjang patch menggunakan rumus :

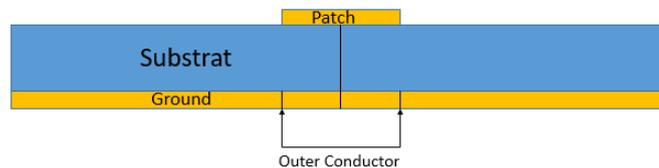
$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (4)$$

Dimana ϵ_{reff} merupakan nilai konstanta dielektrik efektif dan L_{eff} merupakan nilai dari panjang patch efektif sedangkan L merupakan panjang patch yang sesungguhnya. Metode penyambungan feeding yang umum digunakan adalah penyambungan coax atau yang biasa

kita sebut dengan probe feed microstrip, dalam jenis teknik penyambungan ini yaitu menghubungkan ground dan patch melalui feed didalam dielektrik antenna. Patch terhubung memalalui feed yang melewati material dielektrik serta ground, pada gambar 1 merupakan gambaran probe feed microstrip yang dilihat dari samping antenna.



Gambar 2 Probe feed microstrip

Kelebihan dari metode probe feed adalah peluang radiasi spurious akan sangat kecil, sehingga membuat antenna lebih efisien serta implementasinya yang tergolong mudah membuat teknik penyambungan ini sering dipakai para peneliti untuk membuat sebuah penelitian. Untuk menentukan koordinat lokasi probe dapat menggunakan persamaan dibawah.

$$X_f = \frac{L}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad Y_f = \frac{W}{3^2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

Dimana X_f adalah lokasi pada sumbu x dan L merupakan panjang patch antenna dan Y_f merupakan lokasi pada sumbu y dan W merupakan lebar patch antenna. Selanjutnya groundplane Bagian terakhir atau bagian paling bawah dari substrat adalah *groundplane* biasanya terbuat dari bahan *konduktor* yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. Untuk menentukan panjang groundplane menggunakan rumus:

$$L_g = 2xL \quad (6)$$

Sedangkan untuk menentukan rumus lebar groundplane menggunakan rumus:

$$W_g = 2xW \quad (7)$$

DESAIN ANTENA

Dalam mendesain antenna terlebih dahulu kita menentukan spesifikasi antenna yang akan kita buat, pada penelitian ini kita menggunakan bahan substrat fr-4 yang mudah terdapat dipasaran jika akan melakukan proses fabrikasi. Adapun spesifikasi antenna diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Detail Antenna

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk Patch	Rectangular Insert Feed
Frekuensi Tengah	2.2 GHz
Return Loss	≥ 10 dB
VSWR	≤ 2
Impedansi	$\pm 50\Omega$
Konstanta Dielektrik	$4.3 \epsilon_r$

Ketebalan Patch	0.035 mm
Ketebalan Susbtrat	1.6 mm
Bahan Substrat	Fr-4
Bahan Patch	Copper

Perhitungan antenna single dan array 2x1 dimulai dari perhitungan perhitungan patch dengan frekuensi 2.2 GHz dan menggunakan bahan Cooper yang mempunyai nilai konstantan dielektrik ϵ_r sebesar 4.3 sedangkan untuk ketebalan patch menggunakan sebesar 0.035 mm. Ketebalan substrat memakai ketebalan sebesar 1.6 mm yang terbuat dari FR-4 yang mempunyai nilai impedansi sebesar $\pm 50 \Omega$ sedangkan ground mempunyai panjang dan lebar yang sama dengan ukuran substrat namun memiliki ketebalan yang sama dengan patch yakni sebesar 0.035 mm. Hasil yang didapat dari perhitungan antenna singel dan array 2x1 mempunyai nilai seperti table 2 dibawah.

Tabel 2 Nilai perhitungan antenna Array 2x1

No	Simbol	Keterangan	Nilai
1	W	Width of Patch	43 mm
2	L	Length of Patch	31.5 mm
3	Ws	Width of Substrate	128 mm
4	Ls	Length of Substrate	111 mm
5	Wg	Width of Ground	128 mm
6	Lg	Length of Ground	111 mm

Setelah menentukan nilai dari perhitungan antenna Array 2x1 selanjutnya menentukan perhitungan nilai dari antenna single patch dengan frekuensi 2.2 GHz yang mempunyai nilai seperti tabel 3 dibawah.

Tabel 3 Nilai perhitungan antenna Single

No	Simbol	Keterangan	Nilai
1	W	Width of Patch	38 mm
2	L	Length of Patch	32 mm
3	Ws	Width of Substrate	57 mm
4	Ls	Length of Substrate	48 mm
5	Wg	Width of Ground	57 mm
6	Lg	Length of Ground	48 mm

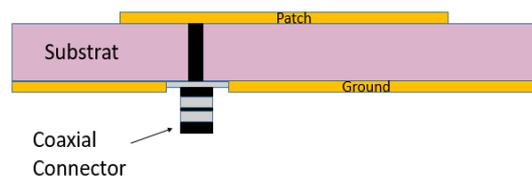
Metode Pencatuan

Terdapat beberapa macam metode pencatuan antara lain *coaxial feed*, *microstrip feed*, *proximity coupled microstrip feed*, *aperture-coupled microstrip feed* dan *insert feeding*.

a. Coaxial Feeding

Coaxial feeding adalah salah satu metode dasar yang digunakan dalam pencatuan antena mikrostrip. Kabel koaksial terhubung ke antena sehingga konduktor bagian luarnya terhubung pada bagian groundplane, sementara konduktor dalam disolder ke bagian patch.

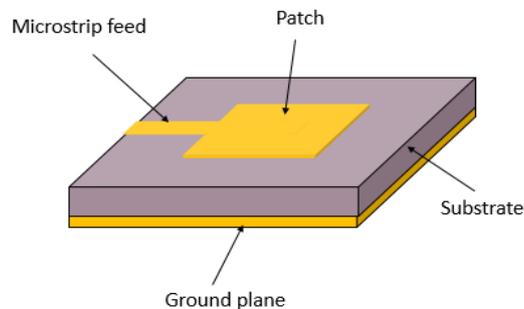
Coaxial feeding biasanya memberikan *bandwidth* yang sempit dan ketika fabrikasi menggunakan substrate yang tebal, probe yang lebih lebar akan dibutuhkan untuk meningkatkan *power* permukaan dan induktansi dari *feeding*.



Gambar 3 Coaxial Feeding

b. Line Feeding

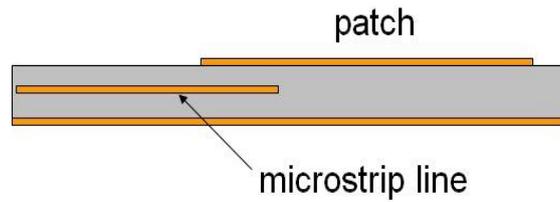
Dalam pencatuan jenis ini, *patch* dari mikrostrip di catu dengan jalur konduktor yang diletakkan di sisi yang sama pada elemen *patch*, atau biasa disebut dengan *microstrip line*. *Microstrip linefeed* sangat mudah didesain, dihubungkan dan difabrikasi. Pencatuan jenis ini adalah pilihan yang baik jika digunakan untuk mencatu antena *array*. Bagaimanapun juga, pencatuan jenis ini juga memiliki kelemahan yaitu menghasilkan *bandwidth* yang sempit.



Gambar 4 Line Feeding

c. Proximity Coupled Feeding

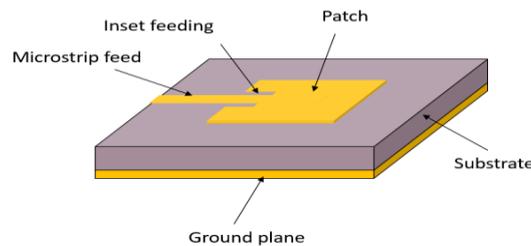
Proximity coupled feeding terdiri dari 2 layer atau tumpukan substrat dielektrik. *Patch* dari antena mikrostrip terletak pada bagian atas tumpukan substrat pertama dan jalur feeding atau pencatuannya terletak di bagian atas di layer kedua atau tumpukan bawah dari substrat. Jadi pencatuannya dikopel secara elektromagnetis oleh substrat dielektrik. Pencatuan jenis ini mengurangi radiasi yang tidak dibutuhkan dan memperluas *bandwidth*. Kelemahannya adalah membutuhkan ketepatan dalam mendesain bagian atas dan bawah layer, agar energi dapat terkopel dengan baik.



Gambar 5 Proximity coupled feeding

d. Inset Feeding

Inset Feed merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai penyesuai impedansi pada patch. Teknik pencatuan *insert feed* merupakan salah satu contoh dari teknik pencatuan microstrip line. Pencatuan tipe ini dapat ditambahkan *insert feed* pada patch dan menyatu dengan *line feed*. Tujuan memberikan potongan menjorok (*insert*) ke dalam patch adalah untuk menyesuaikan impedansi saluran dengan patch tanpa memerlukan elemen penyesuai tambahan. Hal ini dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *insert* yang benar.

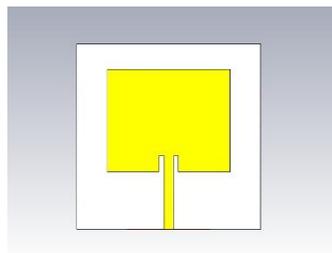


Gambar 6 Inset feeding

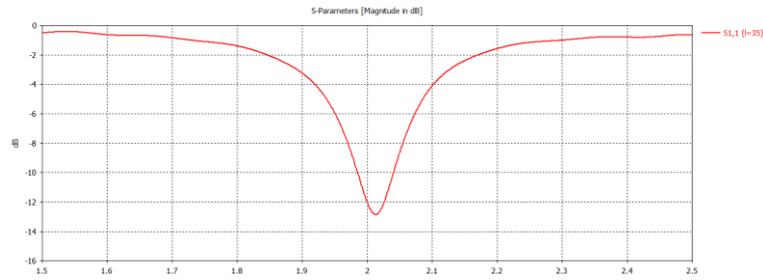
PEMBAHASAN

Pengukuran antenna dimulai pada simulasi frekuensi kerja pada frekuensi 2.2 GHz di antenna mikrostrip dengan. pengukuran S-Parameter atau yang biasa kita sebut dengan *return loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. Berikut merupakan pengukuran S-Parameter, VSWR, dan Radiation Pattern dengan membandingkan antenna Single Patch dan antenna Array 2x1 dengan frekuensi 2.2 GHz.

a. Single Patch

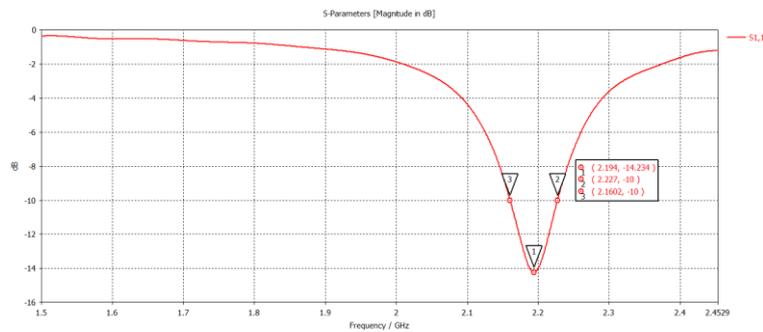


Gambar 7 Antenna Single Patch



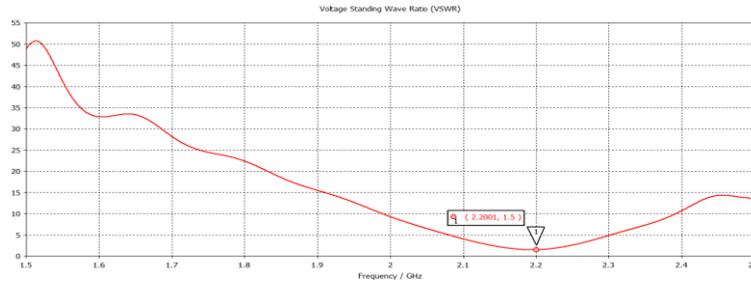
Gambar 8 S Parameter Antenna Single Patch

Terlihat pada gambar 8 diatas hasil S-parameter Antenna Single Patch tidak berkerja pada frekuensi yang diinginkan sehingga kita perlu melakukan perubahan dimensi antenna dengan cara sweep antenna, sweep antenna dilakukan pada panjang patch yang dimulai dari 35-30mm. dengan kelipatan penghitungan 0.5 Hasil yang didapat antenna berkerja pada frekuensi 2.2 GHz dengan menggunakan panjang antenna sebesar 35mm, untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 9 dibawah.



Gambar 9 S-Parameter Sweep Antenna Single

Dari hasil gambar 9 diatas menunjukkan frekuensi tengah berada pada frekuensi 2.2 GHz dengan nilai return loss sebesar -14 dB. Berdasarkan nilai tersebut antenna hasil perancangan telah memenuhi standar kelayakan antenna dengan nilai <-10dB. Pengukuran selanjutnya yaitu pengukuran VSWR, VSWR adalah daya refleksi yang ditimbulkan apabila impedansi saluran transmisi tidak sesuai dengan *transceiver*. Berikut merupakan hasil VSWR antenna yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10 VSWR Measurement

Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 10 diatas diperoleh nilai VSWR Antenna Single Patch sebesar 1.5 pada frekuensi 2.2 GHz Nilai tersebut telah memenuhi syarat kelayakan antenna yang telah ditetapkan bahwa VSWR harus lebih atau sama dengan 1 dan kurang atau sama dengan 2. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian bandwidth, bandwidth adalah rentang frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik sesuai dengan standart yang telah ditentukan. Hasil pengujian bandwidth dapat diamati pada persamaan dibawah. antenna dengan beberapa karakteristik sesuai dengan standart yang telah ditentukan. Hasil pengujian bandwidth dapat diamati pada persamaan dibawah.

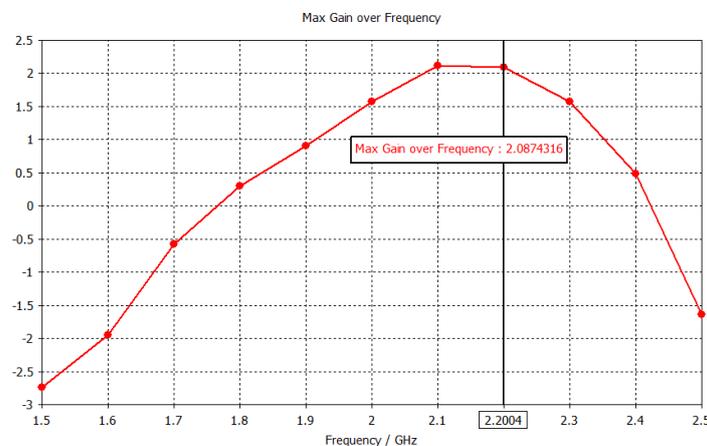
$$Bp = \frac{Fu - Ft}{Fc} \times 100\%$$

$$Bp = \frac{2.5 - 1.5}{2.2} \times 100\%$$

$$Bp = \frac{2.2 - 2.1}{2.2} \times 100\%$$

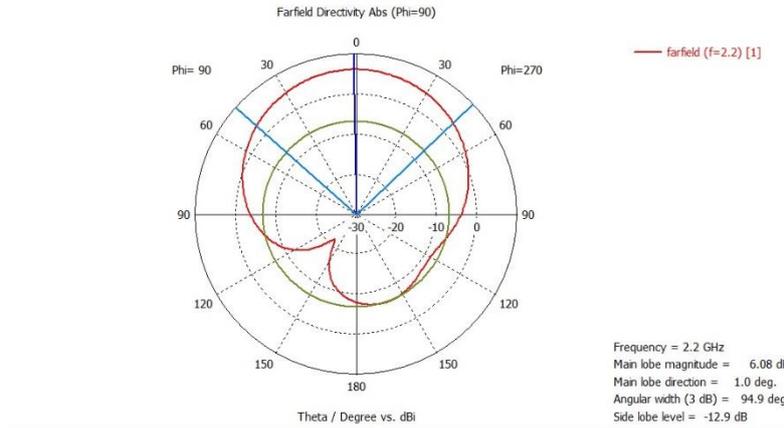
$$Bp = 45 \text{ MHz}$$

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian gain antenna, gain merupakan perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan instensitas radiasi dari antenna isotropik. Hasil pengujian gain dapat dilihat pada gmbar 11 dibawah yang memiliki hasil simulasi n nilai gain sebesar 4 dBi.



Gambar 11 Gain Simulation

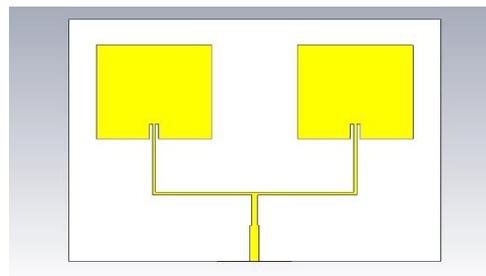
Simulasi selanjutnya yaitu pengujian pola radiasi, pola radiasi yaitu fungsi matematik atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi dari antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Pola radiasi pada antenna biasanya digambarkan dengan bentuk pola 3 dimensi, pola antenna 3 dimensi ini biasanya dibentuk dari dua pola radiasi yaitu berupa pola elevasi dan pola azimuth. Hasil pengujian dapat diamati pada gambar 12 dibawah.



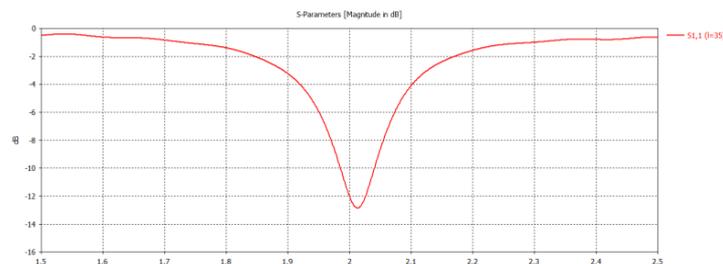
Gambar 12 Radiation Pattern

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diatas antenna Array 2x1 dengan frekuensi 2.2 GHz.

b. Array 2x1

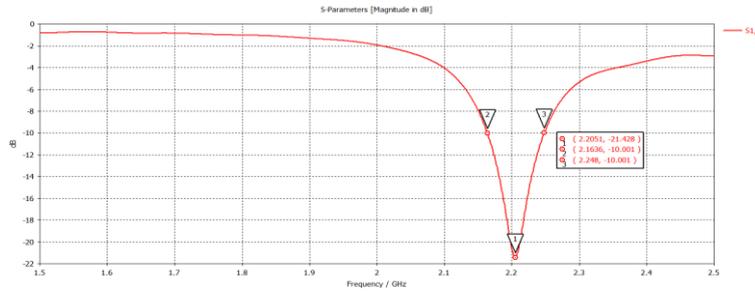


Gambar 13 Antenna Array 2x1



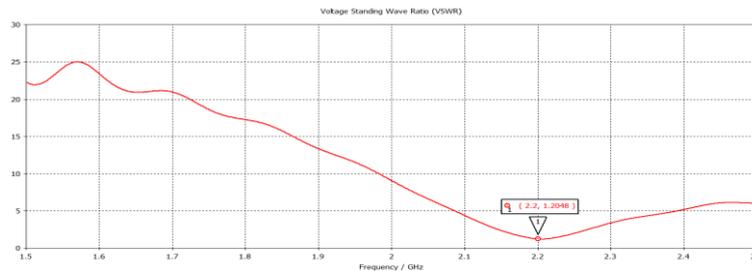
Gambar 14 S Parameter

Terlihat pada gambar 14 diatas hasil S-parameter Antenna Array 2x1 tidak berkerja pada frekuensi yang diinginkan sehingga kita perlu melakukan perubahan dimensi antenna dengan cara sweep antenna, sweep antenna dilakukan pada panjang patch yang dimulai dari 35-30mm. dengan kelipatan penghitungan 0.5 Hasil yang didapat antenna berkerja pada frekuensi 2.2 GHz dengan menggunakan panjang antenna sebesar 35mm, untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 15 dibawah.



Gambar 15 S-Parameter Sweep Antenna

Dari hasil gambar 15 diatas menunjukkan frekuensi tengah berada pada frekuensi 2.2 GHz dengan nilai return loss sebesar -20 dB. Berdasarkan nilai tersebut antenna hasil perancangan telah memenuhi standar kelayakan antenna dengan nilai <-10dB. Pengukuran selanjutnya yaitu pengukuran VSWR, VSWR adalah daya refleksi yang ditimbulkan apabila impedansi saluran transmisi tidak sesuai dengan *transceiver*. Berikut merupakan hasil VSWR antenna yang ditunjukkan pada gambar 16 dibawah.



Gambar 16 VSWR Measurement

Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 6 diatas diperoleh nilai VSWR sebesar 1.5 pada frekuensi 2.2 GHz Nilai tersebut telah memenuhi syarat kelayakan antenna yang telah ditetapkan bahwa VSWR harus lebih atau sama dengan 0 dan kurang atau sama dengan 2. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian bandwidth, bandwidth adalah rentntang frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik sesuai dengan standart yang telah ditentukan. Hasil pengujian bandwidth dapat diamati pada persamaan berikut.

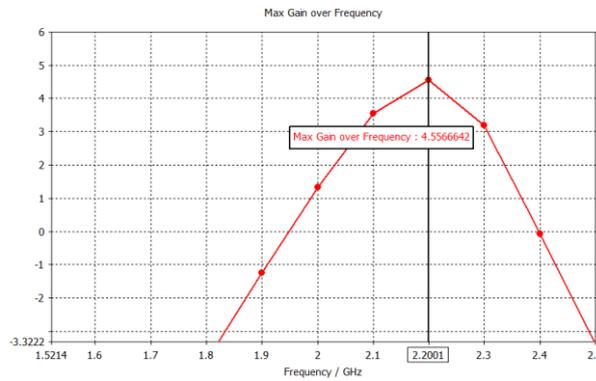
$$Bp = \frac{Fu - Ft}{Fc} \times 100\%$$

$$Bp = \frac{2.5 - 1.5}{2.2} \times 100\%$$

$$Bp = \frac{2.2 - 2.1}{2.2} \times 100\%$$

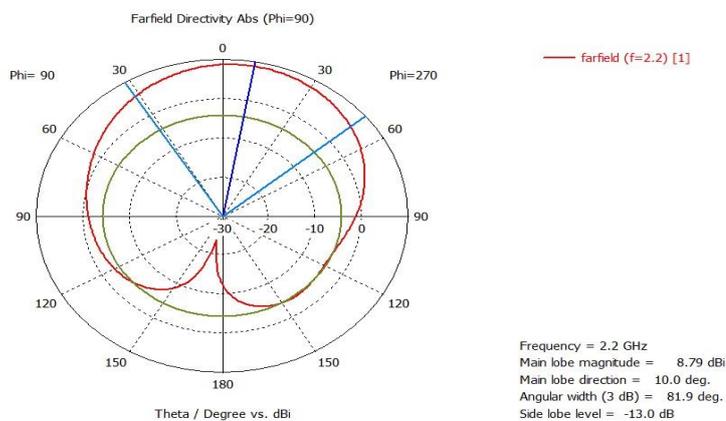
$$Bp = 45 \text{ MHz}$$

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian *gain* antenna, *gain* merupakan perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan instensitas radiasi dari antenna isotropic. Hasil pengujian gain dapat dilihat pada gambar 7 dibawah yang memiliki hasil simulasi n nilai gain sebesar 2 dBi.



Gambar 17 Gain Simulation

Simulasi selanjutnya yaitu pengujian pola radiasi, pola radiasi yaitu fungsi matematik atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi dari antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Pola radiasi pada antenna biasanya digambarkan dengan bentuk pola 2 dimensi, pola antenna 2 dimensi ini biasanya dibentuk dari farfield pada sudut tertentu. Hasil simulasi dapat diamati pada gambar 18 dibawah.



Gambar 18 Radiation Pattern

PENUTUP

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan maka berikut adalah perbandingan dari antenna single patch dan array 2x1 dengan frekuensi 2.2 GHz dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Result of Antenna Parameter

No	Parameter	Nilai	
		Single	Array 2x1
1	Frekuensi	2.2 GHz	2.2 GHz
2	S-Parameter	-14 dB	-20 dB
3	VSWR	1.5	1.2
4	Bandwith	45 MHz	45 MHz
5	Gain	2 dBi	4 dBi

Berdasarkan tabel 4 diatas kita dapat menarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Pada proses simulasi antena single patch secara simulasi dapat beroperasi pada frekuensi 2.2 GHz dengan nilai return loss sebesar -14 dB sedangkan antenna array 2x1 memiliki nilai return loss sebesar -20 dB hal ini menunjukkan bahwa antenna array memiliki return loss yang lebih bagus daripada return loss dari antenna single.
2. Proses simulasi juga mengukur VSWR, bandwith serta gain dari kedua antenna yakni single dan array 2x1. Antenna single memiliki nilai sebesar 1.5 untuk VSWR, 45 MHz untuk bandwidthnya dan gainnya sebesar 2 dBi. Sedangkan untuk antenna array memiliki nilai VSWR 1.2, bandwidth 45 MHz serta gainnya 2 dBi. Maka dapat disimpulkan bahwa antenna array 2x1 memiliki nilai yang lebih bagus daripada antenna single.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Kumar, N. Gupta, and P. C., "Gain and Bandwidth Enhancement Techniques in Microstrip Patch Antennas - A Review," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 148, no. 7, pp. 9–14, 2016, doi: 10.5120/ijca2016911207.
- A. F. Alsager, "Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays," *Msc. Thesis, Univ. Coll. Boras, Sch. Eng.*, no. 1, pp. 1–80, 2011.
- A. Elrashidi and K. Elleithy, Hassan Bajwa, "Input Impedance, VSWR and Return Loss of a Conformal Microstrip Printed Antenna for TM01 mode Using Two Different Substrates," *Int. J. Networks Commun.*, vol. 2, no. 2, pp. 13–19, 2012, doi: 10.5923/j.ijnc.20120202.03.
- D. F. Mona, E. S. Sakomura, and D. C. Nascimento, "Microstrip-to-Probe Fed Microstrip Antenna Transition," *2018 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI 2018 - Proc.*, pp. 1521–1522, 2018, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8609140.
- G. Dias, P. Pinho, R. Goncalves, and N. Carvalho, "3D antenna for wireless power transmission: Aperture coupled microstrip antenna with dielectric lens," *2017 Int. Appl. Comput. Electromagn. Soc. Symp. - Italy, ACES 2017*, pp. 3–4, 2017, doi: 10.23919/ROPACES.2017.7916328.

- M. Bentin, S. Kotzur, M. Schlaak, D. Zastrau, and D. Freye, "Perspectives for a wind assisted ship propulsion," *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering*. 2018, doi: 10.3940/rina.ijme.2018.al.439.
- M. V. Mokal, P. S. R. Gagare, and D. R. P. Labade, "Analysis of Micro strip patch Antenna Using Coaxial feed and Micro strip line feed for Wireless Application," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 12, no. 03, pp. 36–41, 2017, doi: 10.9790/2834-1203033641.
- W. L. Stutzman and G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design," *IEEE Antennas Propag. Soc. Newsl.*, vol. 23, no. 5, pp. 40–41, 2013, doi: 10.1109/MAP.1981.27568.
- Y. M. Pan, P. F. Hu, X. Y. Zhang, and S. Y. Zheng, "A low-profile high-gain and wideband filtering antenna with metasurface," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 5, pp. 2010–2016, 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2535498.
- Z. N. Chen, D. Liu, H. Nakano, X. Qing, and T. Zwick, *Handbook of antenna technologies*, vol. 1–4. 2016.