

ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP PATCH RECTANGULAR SUBSTRAT FR-4 PADA FREKUENSI 2,3 GHZ UNTUK APLIKASI LTE

Ahmad Fachri Haekal¹

Program Studi Tekni Elektro Universitas Tarumanagara

Email: ahmad.525170026@stu.untar.ac.id

Joni Fat

Program Studi Teknik Elektro Universitas Tarumanagara

Email: jonif@ft.untar.ac.id

Hadian Satria Utama

Program Studi Teknik.Elektro Universitas Tarumanagara

Email: hadianu@ft.untar.ac.id

ABSTRACTS: This study discussed the analysis of rectangular patch microstrip antenna with FR-4 substrate on 2.3 GHz frequency for LTE applications. The results of this test are expected to be useful for students or common people who need it. 4G is a development of technology that was previously 3G technology. With the existence of 4G technology, will help people easier to access data quickly anywhere anytime. To support 4G technology, an antenna that can support wireless communication is needed where the type of antenna that can provide this service is a microstrip antenna. Microstrip antenna is a type of antenna that has a thin board shape and has the advantage of working at very high frequencies. Microstrip antennas have advantages that lie in their small and light physical form with various patch shapes such as rectangles, squares, triangles. (triangular), circle (circular), ellipse (elliptical), circular ring. In this simulation and analysis process, using FR-4 substrate material at a frequency of 2.3GHz and AWR microwave office application for the measurement method. Antenna parameters are important in the design or analysis of an antenna because the antenna parameters are the benchmark for the antenna's performance. The parameters that being analyzed consists of return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), and input impedance. The result is that the return loss value is -12.07dB below -9.54Db, the VSWR value is 1.664 which is the ideal value, while the Z impedance is 0.60707 and the imaginary value is 0.0802743.

Keyword: Antenna Microstrip, Application LTE, 2,3 GHZ, AWR Micriwave Office

ABSTRAK: Penelitian ini membahas tentang analisa antenna mikrostrip *patch rectangular* dengan substrat FR-4 pada frekuensi 2,3GHz untuk aplikasi LTE. Hasil dari pengujian ini diharapkan bermanfaat untuk mahasiswa ataupun orang awam yang memerlukannya. 4G merupakan pengembangan dari teknologi yang tadinya adalah teknologi 3G. Dengan adanya teknologi 4G ini mempermudah manusia dalam mengakses data dengan cepat dimana saja dan kapan saja. Untuk mendukung teknologi 4G, dibutuhkan sebuah antena yang bisa mendukung komunikasi tanpa kabel dimana tipe antena yang dapat memberikan layanan tersebut adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan tipe antena yang memiliki bentuk papan tipis dan mempunyai kelebihan berkerja pada frekuensi yang tinggi. Antena mikrostrip memiliki keunggulan yang terletak pada bentuk fisiknya yang kecil dan ringan dengan bentuk patch beragam seperti persegi Panjang (*rectangular*), persegi (*square*), segitiga (*triangular*), lingkaran (*circular*), elips (*elliptical*), *circular ring*. Dalam proses simulasi dan analisa ini, menggunakan bahan substrat FR-4 pada frekuensi 2,3GHz dan aplikasi AWR *microwave office* untuk metode pengukurannya. Parameter antena merupakan hal yang berarti dalam perancangan ataupun analisa pada suatu antena disebabkan parameter antena merupakan tolak ukur dari performansi antena itu sendiri. Parameter yang dianalisa yaitu *loss*, *Voltage Standing Wave Rasio*, dan *input impedance*. Adapun hasilnya diperoleh nilai dari return loss -12.07dB dibawah -9,54Db, untuk nilai VSWR memperoleh nilai 1.664 yang merupakan nilai ideal, Sedangkan Z impedansi yang memperoleh nilai 0.60707 dan nilai imajiner 0.0802743.

Kata kunci: Antenna Microstrip, Aplikasi LTE, 2,3 GHZ, AWR Micriwave Office

PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi saat ini sudah berkembang semakin maju. Teknologi telekomunikasi menggunakan kabel mulai diganti dengan teknologi yang lebih canggih dan fleksibel dengan menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya, teknologi tersebut adalah teknologi tanpa kabel (*wireless*) [1]. Dengan teknologi telekomunikasi ini memudahkan manusia dalam mencari informasi dimana serta kapan saja [2]. Untuk memenuhi kebutuhan akan akses informasi atau data yang cepat, maka diperlukan teknologi baru yakni teknologi 4G. 4G diambil dari sebutan Bahasa Inggris yaitu *fourth generation technology* [3]. 4G merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu teknologi 3G. Menurut penjelasan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) nama formal dari 4G ialah "3G and beyond" [3].

¹ Program Studi Teknik Elektro Universitas Tarumanagara

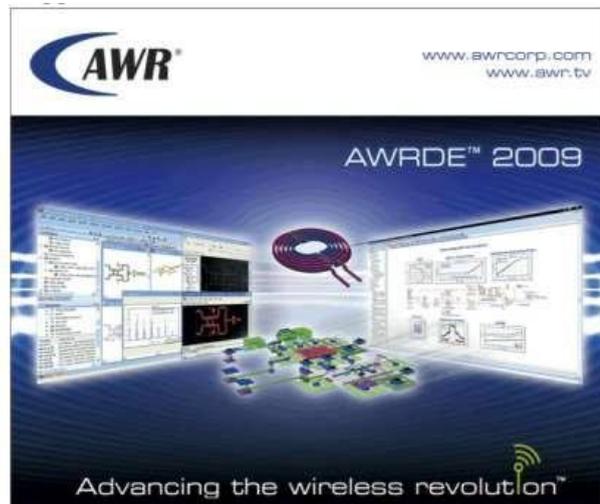
Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka dibutuhkan suatu antena yang dapat mendukung komunikasi tanpa kabel serta salah satu jenis antena yang bisa memberikan layanan komunikasi tanpa kabel adalah antena mikrostrip. Antena merupakan sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetika [4]. Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang mempunyai bentuk papan tipis serta memiliki kelebihan bekerja di frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip mempunyai keunggulan yakni bentuk yang kecil dan beban yang ringan. Bentuk *patch* pada antena mikrostrip yang mempunyai beragam bentuk seperti segitiga, persegi, persegi panjang, dan lingkaran.

Artikel ini dimaksudkan untuk melakukan analisa pada antena mikrostrip *patch rectangular* yang menggunakan substrat FR-4 dengan frekuensi kerja pada 2,3 Ghz. Hasil analisa ini berdasarkan dari hasil simulasi menggunakan aplikasi AWR *Microwave Office*. Parameter yang dianalisa, antara lain *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, dan *input impedance*. Analisa ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas mahasiswa program studi Teknik Elektro dan juga orang awam yang memerlukannya

AWR Microwave Office

Software yang akan digunakan dalam simulasi perancangan antena mikrostrip *patch rectangular* adalah aplikasi AWR *microwave office*. AWR *microwave office* digunakan sebagai simulasi parameter antenna seperti hasil simulasi diatas yaitu:

1. VSWR
2. Return Loss
3. Input Impedance



■ **Gambar 1.** Aplikasi AWR

Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip-merupakan jenis antena yang mempunyai bentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi [1]. Antena mikrostrip memiliki bentuk serta ukuran yang simpel sehingga dapat digunakan diberbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil. Oleh karena itulah antena mikrostrip ini bisa diaplikasikan dimana saja seperti komunikasi radar, komunikasi satelit, komunikasi militer, dan *mobile* [5].

Antena mikrostrip ini memiliki keunggulan dibanding jenis antenna lainnya, yaitu [5]:

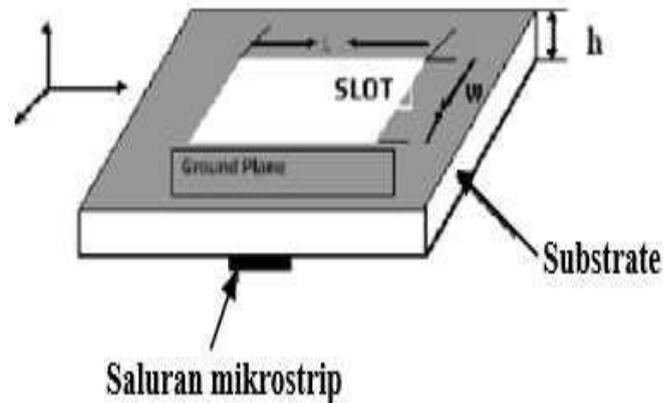
1. Mudah disambungkan atau dikoneksikan dengan *device* lain.
2. Mudah direalisasikan dan murah.
3. Bisa menghasilkan berbagai macam pola radiasi
4. Ukuran dan bentuk yang simpel.

Antena mikrostrip memiliki kekurangan yaitu [5]:

1. Gain dan efisiensi yang rendah
2. Bandwidth yang sempit

Slot Antena Mikrostrip

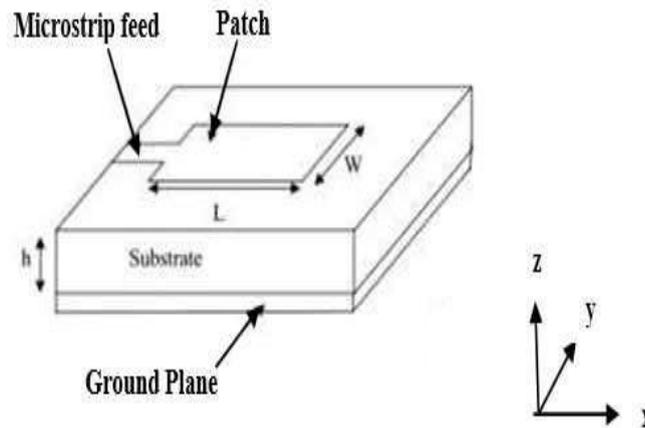
Slot merupakan variasi konfigurasi dari antena mikrostrip yang dimana pada lapisan *groundplane* diberikan atau dimasukkan slot yang bisa dilihat pada Gambar 1 dibawah [4]. Slot antena mikrostrip memiliki keunggulan dalam hal efisiensi bahan diakarenakan slot antena mikrostrip ini hanyamenggunakan dua buah lapisan konduktor yang dimana-lapisan atas berfungsi untuk radiator sedangkan lapisan bawah berfungsi untuk saluran catu.



■ Gambar 2. Slot Antena Mikrostrip

Antena Patch Rectangular

Antena *rectangular* merupakan salah satu jenis antena yang mudah dalam proses pabrikan dan banyak digunakan dalam pembuatan antena dikarenakan ketebalan substrat pada antena *patch rectangular* lebih tipis daripada Panjang gelombang [4]. Itulah mengapa *patch rectangular* dianggap sebagai bidang *plannar* dua dimensi agar mempermudah saat menganalisa.



■ Gambar 3. Rectangular Patch

KARAKTERISTIK DASAR ANTENA

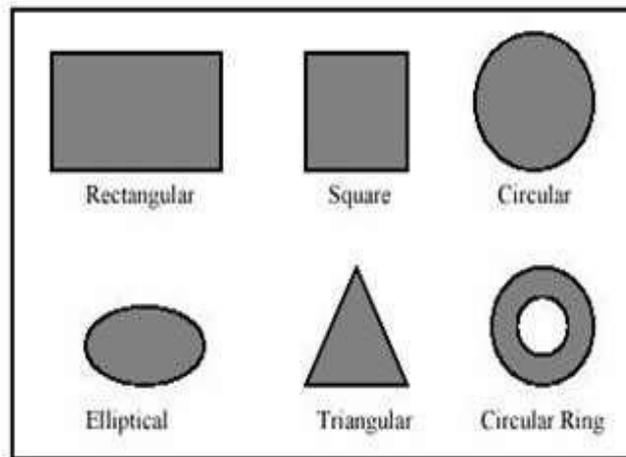
Mikrostrip terdiri dari 2 kata yakni *micro* (sangat kecil) dan *strip* (potongan) [2]. Antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian yakni:

Patch

Patch merupakan alat yang terbuat dari bahan konduktor contohnya tembaga atau emas yang memiliki beragam bentuk seperti pada Gambar 4. Berikut bentuk-bentuk dari *patch* [4]:

- Persegi panjang (*rectangular*)
- Segitiga (*triangular*)
- Lingkaran (*circular*)
- Persegi (*square*)
- Elips (*elliptical*)

- *Circular ring*



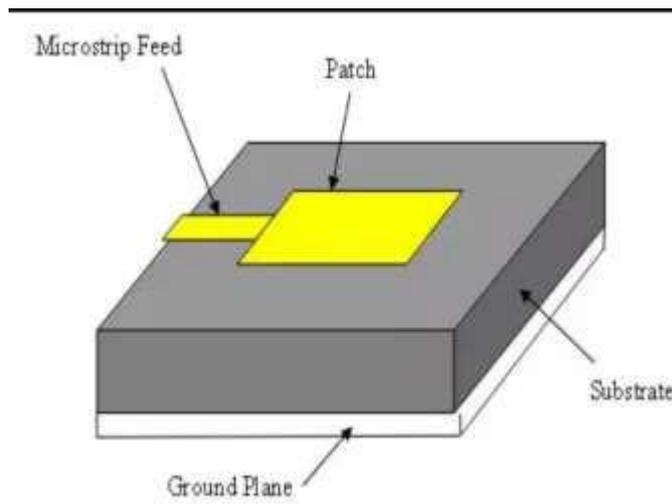
■ **Gambar 4.** Berbentuk Patch antena Mikrostrip

Substrat

Substrat ialah sebuah alat yang terbuat dari bahan dielektrik. Substrat memiliki fungsi sebagai media penyalur GEM dari catuan. Substrat memiliki ketinggian $0,002\lambda_0 - 0,005\lambda_0$ [2]. Pengaruh substrat dielektrik terhadap parameter antena adalah bandwidth.

Ground Plane

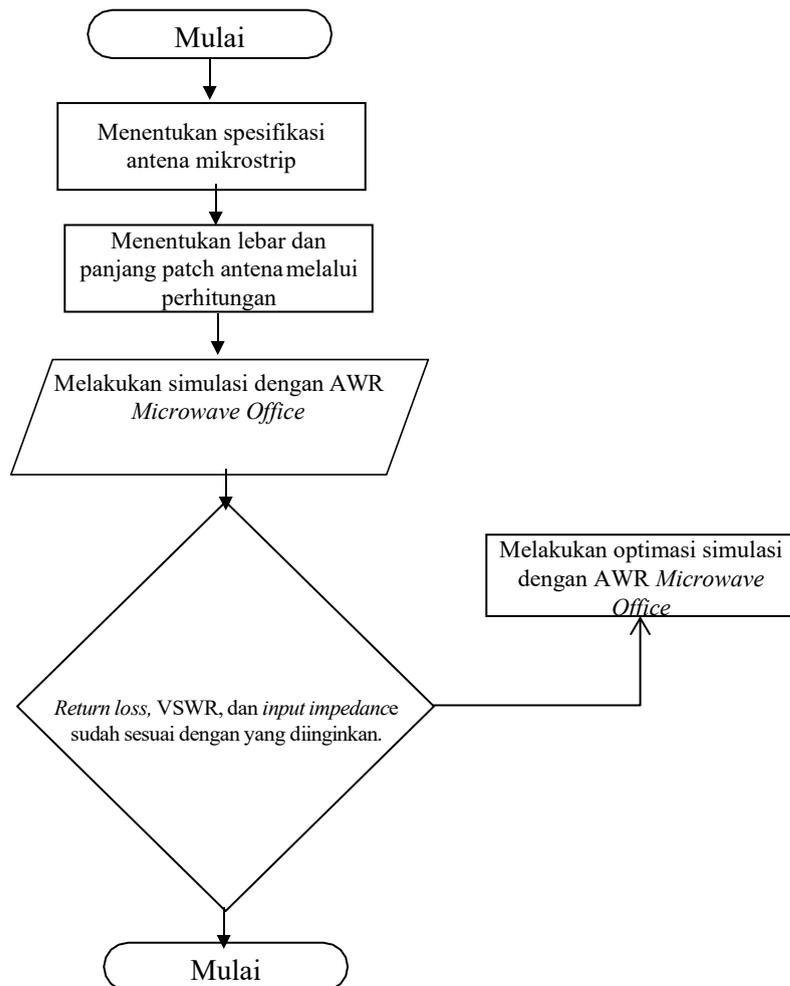
Ground plane terbuat dari bahan konduktor dan memiliki ukuran yang sama dengan substrat. Kegunaan dari *ground plane* adalah sebagai *ground* antena [2]. Berikut adalah Gambar bentuk antena mikrostrip:



■ **Gambar 5.** Bentuk Antena Mikrostrip

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP DAN METODE PENELITIAN

Dalam rangka merancang suatu antena, dibutuhkan diagram alur yang merupakan langkah-langkah perancangan agar proses menjadi lebih efisien. Pada gambar 6 dibawah merupakan diagram alur proses perancangan antena mikrostrip. Langkah pertama yang dilakukan dalam proses perancangan antena adalah menentukan spesifikasi antena yang diinginkan dan menentukan nilai dari setiap variabel yang dibutuhkan seperti panjang, lebar dan parameter lainnya. Setelah semua variabel yang dibutuhkan telah ditentukan, maka dilakukan simulasi menggunakan *AWR Microwave Office*. Proses simulasi dilakukan hingga menemukan nilai parameter yang sesuai dengan yang telah ditentukan seperti nilai *return loss*, *Voltage Standing Wave Rasio* (VSWR), dan *input impedance*.



■ Gambar 6. Diagram Alur

Parameter Antena

Jika ingin merancang antenna mikrostrip yang baik, ada beberapa parameter dan syarat yang harus dipenuhi sesuai dengan standar antenna. Untuk syarat yang harus dipenuhi dalam desain antenna adalah nilai *return loss*, *VSWR*, *input impedance* dan lebar *bandwidth*. Sebelum melakukan perancangan harus menentukan metode antenna dan material yang akan digunakan.

a. Return Loss (RL)

Return Loss didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang datang atau yang direfleksikan dengan tegangan yang keluar. Perbandingan tersebut dinamakan koefisien refleksi tegangan [6]:

$$\Gamma = \frac{V(x) \text{ Pantul}}{V \text{ Terima}} = \frac{V -}{V +} \quad (1)$$

Parameter *return loss* dapat juga dikatakan sebagai kerugian pada transmisi, disebabkan tidak Seimbangnya impedansi karakteristik dan impedansi beban. Untuk *return loss* diperoleh dengan persamaan

$$\text{Return Loss (dB)} = 20 \log |\Gamma| \quad (2)$$

b. VSWR

Bila impedansi saluran transmisi tidak sesuai dengan *transceiver* maka akan timbul daya refleksi (*reflected power*) pada saluran yang berinterferensi dengan daya maju (*forward power*). Interferensi ini menghasilkan gelombang berdiri (*standing wave*) yang besarnya bergantung pada daya refleksi. *VSWR* merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum dengan minimum. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan dan tegangan yang direfleksikan. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan

dengan tegangan yang dikirimkan tersebut sebagai koefisien refleksi tegangan [7]:

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} \quad (3)$$

- c. Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Persamaan untuk mencari nilai VSWR adalah:

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk pabrikan antenna adalah $VSWR \leq 2$

- d. *Input impedance*

Input impedance dari suatu antenna dapat dilihat sebagai impedansi dari antenna tersebut pada terminalnya. Impedansi masukan, Z_{in} terdiri dari bagian *real* (R_{in}) dan imajiner (X_{in}).

$$z_{in} = R_{in} + jX_{in}\Omega \quad (5)$$

Dari 5 persamaan di atas, komponen yang diharapkan adalah impedansi *real* (R_{in}) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner (X_{in}) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna

Bahan

■ Tabel 1. Bahan Antena

| | |
|---|--------|
| Material | FR-4 |
| Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r) | 4.3 |
| Faktor Disipasi | 0.09 |
| Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$) | 0.0265 |
| Ketebalan Substrat (h) | 1.6 mm |

Bahan yang akan digunakan dalam simulasi antenna mikrostrip *patch rectangular* merupakan FR-4. Bahan FR-4 dipilih dikarenakan memenuhi syarat spesifikasi untuk antenna mikrostrip dan juga memiliki kelebihan yaitu harga bahan yang murah. Spesifikasi bahan FR-4 yang akan digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 1 diatas [8].

Metode

Antena yang akan disimulasikan pada penelitian ini adalah antenna mikrostrip *patch rectangular* yang memiliki frekuensi 2,3 GHz. Pada simulasi penelitian ini parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *vsw r*, dan *input impedance*. Antena mikrostrip merupakan antenna mikrostrip yang mempunyai bentuk *patch* persegi panjang, dimensi ukuran yang dimiliki antenna mikrostrip *patch rectangular* adalah lebar (W), panjang (L)

1. Untuk menghitung lebar *patch* dapat dihitung menggunakan persamaan 1.1 [4]:

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

1.1

$$W = \frac{3.10^8}{2(2.3 \times 10^9)} \sqrt{\frac{2}{4.3 + 1}} = 0.0400627 \text{ m} = 40.06 \text{ mm}$$

Keterangan :

- W = Lebar *patch* (mm)
 c = Kecepatan cahaya (m/s)
 f = Frekuensi kerja (Hz)
 ϵ_r = Karakteristik permitivitas relatif

2. Untuk menghitung dielektrik antenna dapat dihitung menggunakan persamaan 1.2 [9]

Keterangan:

- W = Lebar *patch* (mm)
 h = Ketebalan substrat
 ϵ_{reff} = Konstanta dielektrik *effective*

3. Untuk menghitung pertambahan Panjang efektif *patch* dapat dihitung menggunakan persamaan 1.3 [9]:

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

$$\Delta L = 0.412(1.6) \frac{(4.0066 + 0.3) \left(\frac{40.06}{1.6} + 0.264\right)}{(4.0066 - 0.258) \left(\frac{40.06}{1.6} + 0.8\right)} = 0.74$$

Keterangan:

- W = Lebar *patch* (mm)
 h = Ketebalan substrat
 ϵ_{reff} = Konstanta dielektrik *effective*
 ΔL = Pertambahan dari panjang *patch* (L) (mm)

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

$$\epsilon_{reff} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{1.6}{40.06} \right]^{-\frac{1}{2}} = 4.0066$$

4.. Untuk menghitung panjang *patch* dapat dihitung menggunakan persamaan 1.4 [4]:

Keterangan:

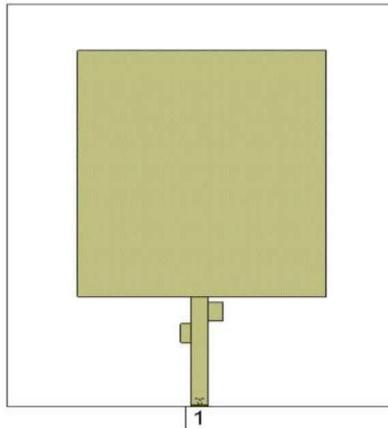
- ΔL = Pertambahan dari panjang *patch* (L) (mm)
 f_0 = Frekuensi kerja (Hz)
 c = Kecepatan cahaya (m/s)
 ϵ_{reff} = Konstanta dielektrik *effective*
 L = Panjang *patch* (mm)

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan diatas maka

ditemukan nilai lebar *patch* (W) yaitu 40.06 dan untuk Panjang *patch* (L) yaitu 29.96. Hasil dari perhitungan dari persamaan diatas dapat dilihat pada tabel 2 dibawah:

■ Tabel 2. Dimensi Antena

| Bahan | W (mm) | L (mm) | w (mm) | X (mm) | Y (mm) |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| FR-4 | 40.06 | 29.96 | 3 | 60 | 60 |



■ Gambar 7. Antena Mikrostrip Substrat FR-4

Setelah hasil patch terbentuk dari perhitungan seperti pada Gambar 7 diatas maka simulasi akan dijalankan dengan rentang frekuensi 1GHz-3GHz dengan kenaikan 0,1GHz. Terakhir yaitu dengan menggambar grafik untuk *Return Loss*, *VSWR*, dan *input impedance* setelah itu hasilnya diverifikasi [8]

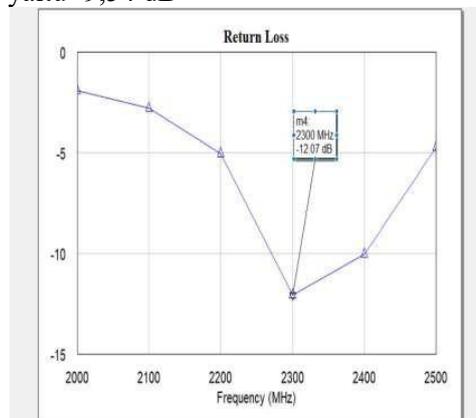
DISKUSI DAN HASIL

Return Loss

Return loss merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan [1]. Perbandingan tersebut disebut koefisien refleksi tegangan. Terjadinya *return loss* dikarenakan ketidaksesuaian impedansi dan juga saluran transmisi dengan impedansi masukan beban antena. Parameter *return loss* disebut sebagai rugi-rugi pada transmisi dikarenakan impedansi karakteristik dengan impedansi beban tidak seimbang. Untuk mendapat nilai *return loss* didapatkan dari persamaan berikut [2]:

$$Return Loss (dB) = 20\log|\Gamma|$$

Dari hasil yang didapatkan melalui pengukuran aplikasi AWR seperti pada Gambar 8 dibawah, menunjukkan jika FR-4 mendapatkan nilai -12.07dB. Hasil tersebut dapat diterima dikarenakan nilainya memenuhi nilai normal yaitu -9,54 dB



■ Gambar 8. Nilai *Return Loss*

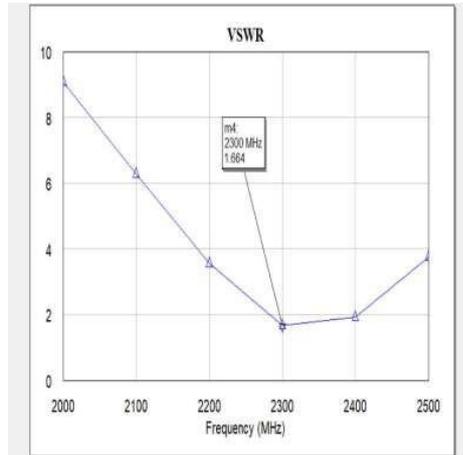
VSWR

VSWR merupakan perbandingan antara tegangan maximum serta minimum pada sebuah

gelombang berdiri, dikarenakan adanya sebuah pantulan gelombang yang diakibatkan tidak sesuainya impedansi *input* antenna dengan saluran *feeder* [1]. Pada dasarnya nilai *VSWR* yang dianggap baik adalah $VSWR \leq 2$. Nilai dari *VSWR* dapat dicari berdasarkan Persamaan berikut [1]:

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma_L|}{1-|\Gamma_L|}$$

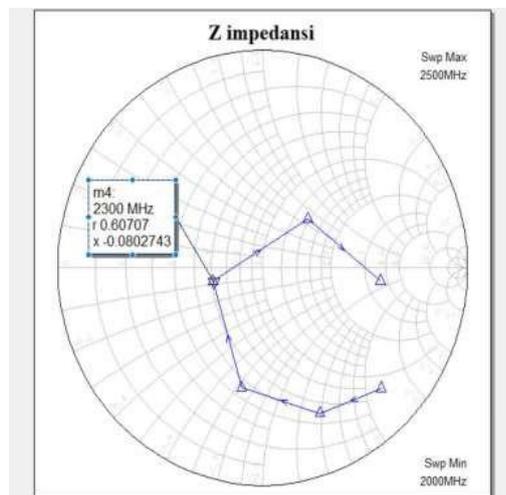
Dari hasil yang didapatkan dari pengukuran aplikasi AWR seperti pada Gambar 7 dibawah, menunjukkan jika nilai *VSWR* yang didapatkan 1.664. Hasil yang didapatkan baik dikarenakan nilai *VSWR* dibawah 2



■ Gambar 9. Nilai VSWR

Input Impedance

Tujuan dari *input impedance* ini adalah untuk mencapai pencocokan sempurna atau tidak ada refleksi pada ujung saluran beban. Impedansi pada saluran transmisi sama dengan 50Ω [8]. Maka *input impedance* harus sama dengan nilai tersebut, dalam bentuk normal, seharusnya $Z_{in} = 1$. Sulit untuk mendapat nilai frekuensi yang sesuai, maka nilai yang mendekati sesuai perkiraan akan diterima. Hasil dari nilai *input impedance* dapat dilihat pada Gambar 10



■ Gambar 10. Nilai Input Impedance

Nilai kompleks Input Impedance dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah, dari nilai tersebut dapat disimpulkan bagian nyata kurang atau hampir mendekati angka 1 dan bagian imajiner sama dengan 0. Bagian nyata pada FR- 4 yaitu 0.60707 dan bagian imajinernya adalah 0.0802743.

■ Tabel 3. Input Impedance dalam Bentuk Kompleks

| Bahan | $Z_{in} (\Omega)$ |
|-------|------------------------|
| FR-4 | $0.60707 + j0.0802743$ |

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini bahwa penggunaan substrat FR-4 dinyatakan bekerja dengan baik, hal ini dapat disimpulkan dari nilai *return loss* dengan hasil -12,07dB (dibawah -10 dB). Nilai VSWR menghasilkan nilai yang ideal, yaitu 1.664 (diantara nilai 1 dan 2) dan Zin dengan nilai *real* 0.60707 (kurang dari 1) dan nilai imajiner 0.0802743 (mendekati 0). Dari analisis ini disimpulkan bahwa wearable antena menggunakan bahan FR-4 sebagai substrat untuk aplikasi 4G LTE dapat diterima. Saran dari penelitian ini melakukan pabrikan dari antena yang telah disimulasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Budi, E. S. Nugraha and A. Agung, "Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Circular Pada Frekuensi 2,35 Ghz Untuk Aplikasi LTE," *JURNAL INFOTEL Informatika - Telekomunikasi - Elektronika*, vol. 9, no. 1, pp. 1-11, 2017.
- [2] D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*, vol. 9, no. 2, pp. 1-8, 2018.
- [3] F. Fauzi, G. S. Harly and H. HS, "ANALISIS PENERAPAN TEKNOLOGI JARINGAN LTE 4G DI INDONESIA," *Majalah Ilmiah UNIKOM*, vol. 10, no. 2, pp. 1-10.
- [4] F. Abdurrahman, "DESAIN ANTENA MICROSTRIP RECTANGULAR UNTUK WIFI PADA FREKUENSI 2,462 GHz DAN 5,52 GHz," *dspace.uui.ac.id*, Yogyakarta, 2018.
- [5] Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)," *SETRUM*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2012.
- [6] B. Ooi, X. Xu and I. Ang, "Triple-band slot antenna with spiral EBG feed," no. https://www.researchgate.net/publication/4235082_A_new_triple-band_slot_antenna_with_EBG_feed, 2005.
- [7] M. S. Samsul, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP PADA FREKUENSI 2,3 GHZ UNTUK APLIKASI LTE (LONG TERM EVOLUTION)," 2015. [Online]. Available: <https://dokumen.tech/document/perancangan-antena-mikrostrip-pada-frekuensi-23-ghz-untuk-aplikasi-lte-long.html>. [Accessed 19 Oktober 2021].
- [8] J. Fat, S. Alam and I. Surjati, "Performance Analysis at The Off Body Environment in Terms of Impedance Matching, Return Loss and VSWR for Wearable Antenna System on Different Materials," *Ticate Antena*, pp. 1-6.
- [9] M. Darsono, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Dua Elemen Patch Persegi Untuk Aplikasi Wireless Fidelity," *EECCIS*, vol. 6, no. 2, pp. 1-6, 2012.