

Desain dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Rectangular Array dengan Slit pada Frekuensi 2620-2690 MHz untuk Aplikasi LTE

Hanny Madiawati¹, dan Asep Barnas Simanjuntak²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

¹hannymadiawati@polban.ac.id, ²absimanjuntak@polban.ac.id

Abstrak

LTE (*Long Term Evolution*) adalah teknologi komunikasi *wireless* generasi keempat yang digunakan oleh mayoritas masyarakat. Untuk mendukung implementasi LTE ini dibutuhkan sebuah perangkat antena yang handal dan memiliki *bandwidth* yang lebar. Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan untuk antena *compact*, *low profile*, dan *broadband* antena telah meningkat secara signifikan. Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang digunakan. Antena mikrostrip ini dapat dibuat lebih kecil dengan menggunakan teknik miniaturisasi, seperti memodifikasi geometri antena dengan menggunakan slot. Antena mikrostrip dengan slot memiliki potensi memiliki *bandwidth* yang lebar dan teknik *array* antena untuk meningkatkan *gain* yang menunjang untuk kebutuhan aplikasi LTE. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah dilakukan desain dan realisasi antena mikrostrip *array 4 patch* dengan slot yang digunakan pada aplikasi LTE. Pada penelitian ini telah menghasilkan antena yang bekerja pada *band* frekuensi 2608-2701 MHz, *bandwidth* 93 MHz dan *gain* sebesar 7,24 dB. Antena ini pun mengalami peningkatan *gain* sebesar 4.826 dB dari *single element* dan mengalami reduksi antena sebesar 0,12%.

Kata kunci: antena, mikrostrip, *array*, slot, LTE

Abstract

LTE (*Long Term Evolution*) is a fourth generation wireless communication technology that is currently used by many people. To support the implementation of LTE, we need a reliable antenna and wide bandwidth. In recent years, the demand for compact antennas, low profile and broadband antennas has increased significantly. One type of antennas used is a microstrip antenna. Microstrip antennas can be made smaller by using miniaturization techniques, such as modifying antenna geometry using slots. Microstrip antenna with slots has potential to have a wide bandwidth and antenna array technique to increase gain which support the needs of LTE. Therefore, the aim of this research is the design and realization of 4 patch microstrip array antennas with slots for LTE application. This antenna is obtained to work on the frequency band 2608 – 2701 MHz, bandwidth 93 MHz at 10 dB return loss and gain of 7,24 dB. This antenna obtained an increase in gain of 4,826 dB from single element and the antenna reduction of 0,12%.

Keywords: antenna, microstrip, array, slot, LTE

1. Pendahuluan

Untuk memberikan layanan komunikasi *mobile* dikembangkanlah teknologi *Global System for Mobile* atau GSM yang merupakan sistem komunikasi bergerak yang bekerja secara digital. Generasi berikutnya adalah *Third Generation* atau 3G yang diwakili oleh *Universal Mobile Telecommunication Systems* atau UMTS. Pada generasi ini frekuensi *uplink* dan *downlink* dibedakan seperti untuk frekuensi *downlink* 2120-2170 MHz dan *uplink* dengan frekuensi 1920-1980 MHz pada band ke-1 (Ian, 2017). Setelah itu berkembang jaringan *Fourth Generation* atau 4G, dengan nama *Long Term Evolution* atau LTE (Fauzi, Harly, & Hanraiz, 2012). Pada generasi ini frekuensi *uplink* dan *downlink* dibedakan seperti untuk frekuensi *downlink* 2620-2690 MHz dan *uplink* dengan frekuensi 2500-2570 MHz pada band ke-7 (Ian, 2017). Untuk mendukung implementasi LTE dibutuhkan sebuah alat atau perangkat yang dapat mengirim sinyal gelombang radio sebagai *transmitter* dan juga menangkap gelombang tersebut sebagai *receiver* yaitu antena. Dengan penyebaran teknologi telekomunikasi dalam beberapa tahun terakhir, permintaan untuk antena *compact*, *low profile*, dan *broadband* antena telah meningkat secara signifikan (Peng, Xie, & Sun, 2016). Jenis antena yang memenuhi permintaan tersebut adalah jenis antena mikrostrip. Antena mikrostrip dapat dipakai untuk perangkat telekomunikasi karena memiliki fitur yang menarik seperti, *low profile*, fleksibel, ringan, dan mudah fabrikasi (Sharma & Kanaujia, 2013).

Ukuran antena mikrostrip yang berada pada band UHF (*Ultra High Frequency*) cukup besar karena panjang resonansi berbanding terbalik dengan frekuensi (Sharma & Kanaujia, 2013). Oleh karena itu untuk mendesain antena yang lebih kecil, maka antena mikrostrip konvensional perlu dimodifikasi. Antena mikrostrip dapat dibuat lebih kecil dengan menggunakan teknik miniaturisasi, seperti menggunakan permitivitas tinggi ataupun memodifikasi geometri antena seperti menggunakan slot. Kelebihan antena mikrostrip dengan slot memiliki potensi memiliki *bandwidth* yang lebar (Peng, Xie, & Sun, 2016). Terdapat beberapa bentuk dan penempatan slot yang

Info Makalah:

Dikirim : 08-27-20;

Revisi 1 : 09-15-20;

Revisi 2 : 09-24-20;

Diterima : 09-25-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-878-2273-0597

e-mail : hannymadiawati@polban.ac.id

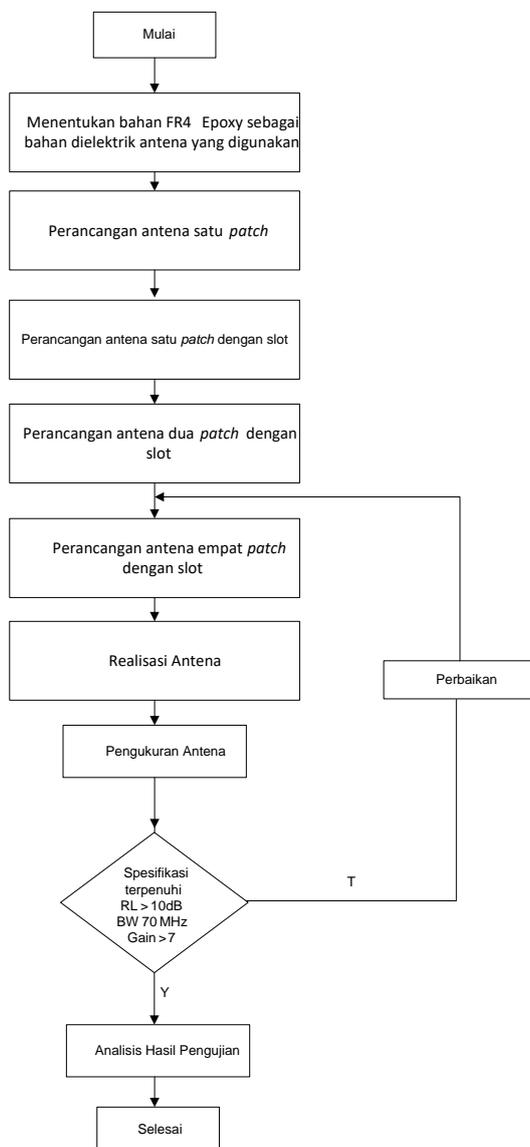
berbeda-beda, seperti U-Slot, rectangular slot, dan H-Slot. Pengaruh pemberian slot dapat mereduksi ukuran antena dan memperlebar *bandwidth*, akan tetapi untuk membuatnya menjadi *array* akan sulit proses desainnya untuk mendapatkan *gain* yang lebih besar.

Sekarang ini dikarenakan perangkat telekomunikasi sangat memperhatikan ukuran dan bentuk maka antena mikrostrip merupakan jenis antena yang banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi. Perancangan antena mikrostrip mempunyai perbedaan dari frekuensi kerja, jumlah *patch*, bentuk *patch*, dan penempatan slot (Sharma & Kanaujia, 2013) (Kumar, Malathi, & Ganesh, 2007) (Pontoon, 2011). Pada penelitian ini telah didesain dan direalisasikan antena mikrostrip *rectangular array* 4 *patch* dengan slot pada frekuensi 2608-2701 MHz. Karena pada penelitian sebelumnya belum sampai pada 4 *patch* dan nilai *gain* masih rendah (Septayadi, 2018).

Penelitian ini bertujuan melakukan simulasi pengukuran desain antena mikrostrip *patch rectangular array* dengan slot pada band frekuensi 2620 - 2690 MHz untuk aplikasi LTE. Teknik slot digunakan agar mendapatkan *bandwidth* yang lebih besar dan teknik *array* digunakan agar mendapatkan *gain* yang lebih besar pula. Kedua, melakukan realisasi antena dengan menggunakan *substrat* FR-4 *epoxy*. Ketiga, mengukur parameter yang telah ditentukan sesuai spesifikasi dan melakukan perbandingan dari pengukuran dan hasil simulasi.

2. Metode

Perancangan antena mikrostrip *array* berbentuk *rectangular* dengan slot pada band frekuensi 2620 – 2690 MHz untuk aplikasi LTE beberapa tahapan sudah dilakukan, ini memiliki tujuan agar perancangan dan realisasi secara sistematis dapat dilakukan. Tahap-tahap perancangan dan realisasi antena yang telah dilakukan dijelaskan dengan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



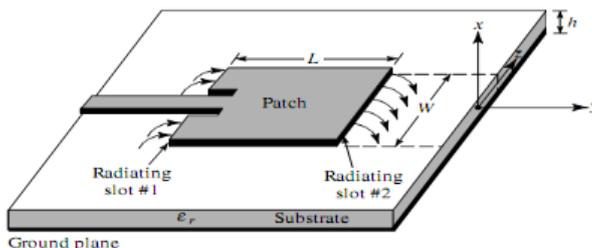
Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Teknologi Jaringan Long Term Evolution (LTE)

LTE adalah standar komunikasi data nirkabel dengan berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA (Gemiharto, 2015), (Indah & Manuaba, 2018). Namun terdapat pemisahan *spectrum* frekuensi dalam pengoperasiannya. Pada generasi ini frekuensi *uplink* dan *downlink* dibedakan seperti untuk frekuensi *downlink* 2620-2690 MHz dan *uplink* dengan frekuensi 2500-2570 MHz pada band ke-7 (Ian, 2017), (Sofyan, 2017). LTE merupakan jaringan All-IP namun GSM/EDGE dan UMTS merupakan jaringan *circuit switch*, oleh karena itu diharapkan dengan tingginya kecepatan pengiriman data LTE fungsi dari jaringan *circuit switch* dapat digantikan. Yakni pemanfaatan aplikasi *over the top* sebagai penyedia layanan telepon bagi LTE . Kemunculan 4G LTE merupakan penanda berkembang nya LTE, dengan menawarkan kecepatan *downlink* hingga 300 Mbps dan *uplink* 75 Mbps (Hakim, 2016), (Mardian, Agoes, & Riffany, 2018) masyarakat dapat lebih menikmati mudah nya komunikasi mobile jarak jauh melalui aplikasi tatap muka yang lebih interaktif seperti *video call*, *teleconference*, *video stream* dan komunikasi interaktif lainnya.

Antena Mikrostrip

Untuk Struktur antena mikrostrip terdiri dari konduktor metal disebut *patch* yang menempel pada material *substrat* dielektrik dan disertai *ground plane* (Samsul, 2015), (Atmaja, 2020). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 struktur antena terdiri dari patch yang tipis ($t \ll \lambda_0$), dimana λ_0 adalah panjang gelombang di ruang bebas. Tebal *substrat*, $h \ll \lambda_0$ (biasanya $0,003 \lambda_0 = h = 0,05 \lambda_0$). Dengan struktur yang disebutkan tersebut antena mikrostrip memiliki keunggulan massa yang ringan, mudah dipabrikasi dan dapat di install pada hampir semua bentuk permukaan dan dimensi ruang (Balanis, 2015). Keunggulan-keunggulan tersebut mendukung antena mikrostrip untuk diintegrasikan dengan perangkat telekomunikasi dengan berbagai ukuran seperti *mobile phone* (Alam & Nugroho, 2018). Perkembangan antena mikrostrip juga didukung oleh ketersediaan *substrat* dengan sifat rugi-rugi disipasi yang semakin kecil dan perkembangan teknik simulasi dan komputasi dalam mendesain serta menganalisis kinerja antena.



Gambar 2. Struktur Antena Mikrostrip (Balanis, 2015)

Antena Mikrostrip Dengan Slot

Dengan menambahkan slot pada *patch* peradiasi antena mikrostrip, *bandwidth* yang ditingkatkan dengan mereduksi dimensi antena dapat diperoleh (Wong, 2002). Terdapat beberapa metoda untuk meningkatkan *bandwidth*, seperti menggunakan *substrat* yang tebal, konstanta dielektrik yang rendah, dan penggunaan slot. Antena mikrostrip slot memiliki potensi untuk meningkatkan *bandwidth*. Namun, *bandwidth* dan dimensi antena pada umumnya memiliki sifat yang bertentangan yaitu peningkatan salah satu parameter akan mengakibatkan penurunan parameter yang lain (Peng, Xie, & Sun, 2016). Jika dimensi antena menurun maka akan mempengaruhi semua parameter antena. Dimensi antena dapat tereduksi dengan menambahkan slot di sepanjang lintasan resonansi *patch*. Dengan adanya slot, maka akan memaksa arus untuk merambat dari ujung satu ke ujung lainnya dengan lintasan yang lebih panjang (Kumar, Malathi, & Ganesh, 2007).

Perancangan Antena

Berdasarkan spesifikasi pada Tabel 1 telah dirancang bentuk dan konstruksi antena *array* dengan slot berbasis mikrostrip 4 *patch* untuk aplikasi LTE.

Berikut spesifikasi teknis yang diinginkan dalam sistem ini:

Tabel 1. Spesifikasi Antena Mikrostrip Array

No	Keterangan	Antena Mikrostrip
1	Frekuensi, MHz	2620 MHz – 2690
2	Bandwidth, MHz	70
3	Return Loss, dB	≥ 10
4	Gain, dB	> 7
5	Pola Radiasi	Unidirectional

Substrat yang menjadi pilihan dalam penelitian ini adalah *FR4 Epoxy*. *Substrat* ini merupakan bahan yang populer dan mudah diperoleh di pasaran. Karakteristik *substrat FR4 Epoxy* yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Substrat *FR4 Epoxy* (Wurth, 2020)

No	Keterangan	Substrat <i>FR4 Epoxy</i>
1	Permitivitas relatif dielektrik (ϵ_r)	4,4
2	Ketebalan dielektrik (h), mm	1,6
3	Ketebalan konduktor (t), mm	0,035
4	<i>Tangent loss</i>	0,024

Beberapa tahap dilakukan dalam perancangan antena mikrostrip sebagai antena penerima ini, pertama ditentukan lebar (Wp) dari *patch* antena. Melalui Persamaan (1) dengan besar frekuensi 2655 MHz, maka diperoleh lebar *patch* antena sebesar 34,38 mm. Kemudian ditentukan panjang (Lp) *patch* antena melalui Persamaan (4) dan diperoleh sebesar 26,56 mm.

Persamaan dibawah ini digunakan untuk mendapatkan nilai W yaitu lebar *patch* dan L yaitu panjang *patch* (Balanis, 2015):

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

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-0.5} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258)(w/h + 0.813)} \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right) \quad (5)$$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (6)$$

Dengan Persamaan 1 diperoleh nilai lebar *patch* (W) sebagai berikut:

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 655 \times 10^6} \sqrt{\frac{2}{4,4 + 1}} \quad (7)$$

$$W = 34,38 \text{ mm} \quad (8)$$

Dengan Persamaan 2 diperoleh nilai epsilon efektif (ϵ_{eff}) sebagai berikut:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(1 + \frac{12 \times 1,6}{34,38}\right)^{-0.5} \quad (9)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = 4,0617 \quad (10)$$

Setelah ϵ_{eff} diketahui berdasarkan Persamaan 3, maka:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258)(w/h + 0.813)} \quad (11)$$

$$\Delta L = 0.412 \times 1.6 \frac{(4,0617 + 0.3)(34,38/1,6 + 0.264)}{(4,0671 - 0.258)(34,38/1,6 + 0.813)} \quad (12)$$

$$\Delta L = 0,7372 \text{ mm} \quad (13)$$

Untuk mencari panjang *patch* (L) berdasarkan persamaan 4 diperoleh nilai sebagai berikut:

$$L = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L \quad (14)$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2655 \times 10^6 \sqrt{4,0671}} - 2 \times 0,7372 \quad (15)$$

$$L = 26,5556 \text{ mm} \quad (16)$$

Untuk mencari lebar saluran pencatu 50 Ω berdasarkan persamaan 5 dan 6 diperoleh nilai sebagai berikut:

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4,4+1}{2} + \frac{4,4-1}{4,4+1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4}\right) \quad (16)$$

$$A = 1,5298 \quad (17)$$

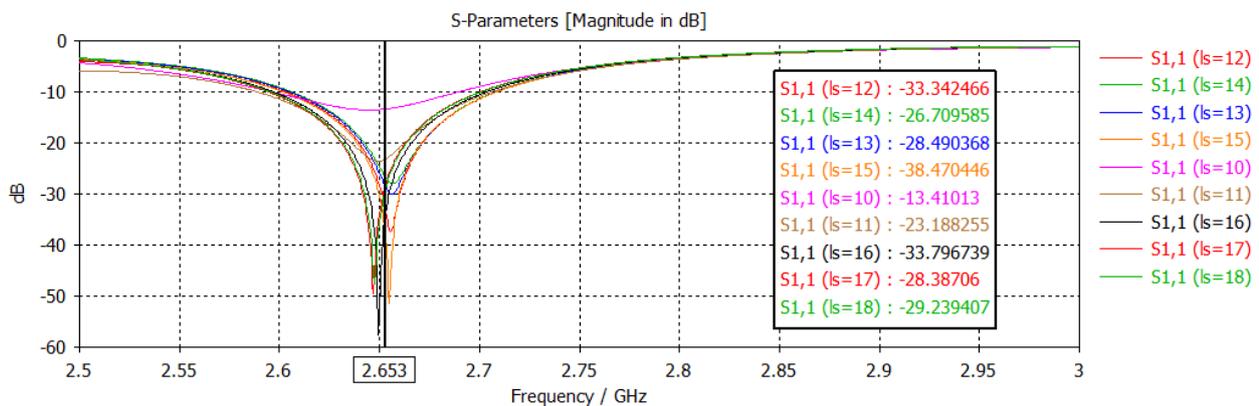
$$\frac{W}{1,6} = \frac{8^{e^{1,5298}}}{e^{2 \times 1,5298} - 2} \quad (18)$$

$$W = 3,0592 \text{ mm} \quad (19)$$

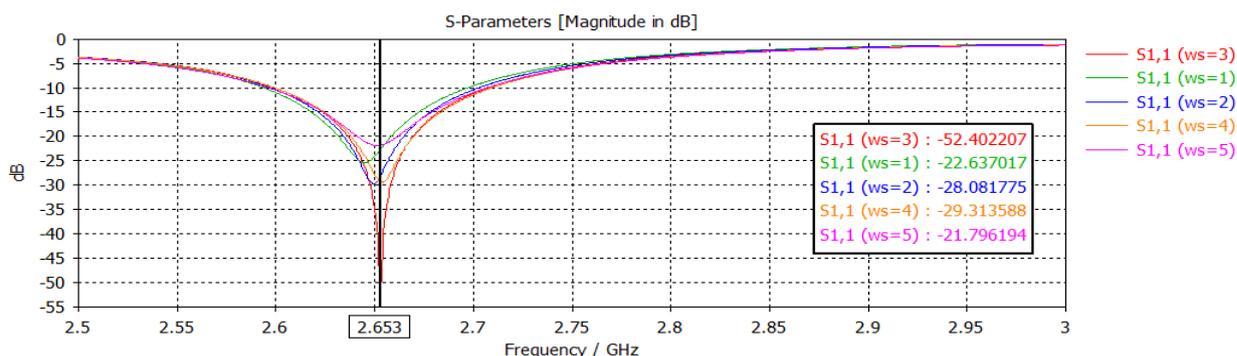
Tabel 3. Hasil Perhitungan Dimensi Antena

Parameter	Nilai (mm)
Lebar <i>patch</i> (W)	34,38
Panjang <i>patch</i> (L)	26,5556
Lebar saluran pencatu 50 Ω (W_f)	3,0592
Panjang saluran pencatu 50 Ω (L_f)	9,3445

Untuk besaran slot dilakukan beberapa percobaan dengan mengubah panjang slot dari 1mm hingga 3 mm dan lebar slot dari 11 mm hingga 15 mm.



Gambar 3. Grafik Return Loss terhadap Perubahan Panjang Slot (Ls)



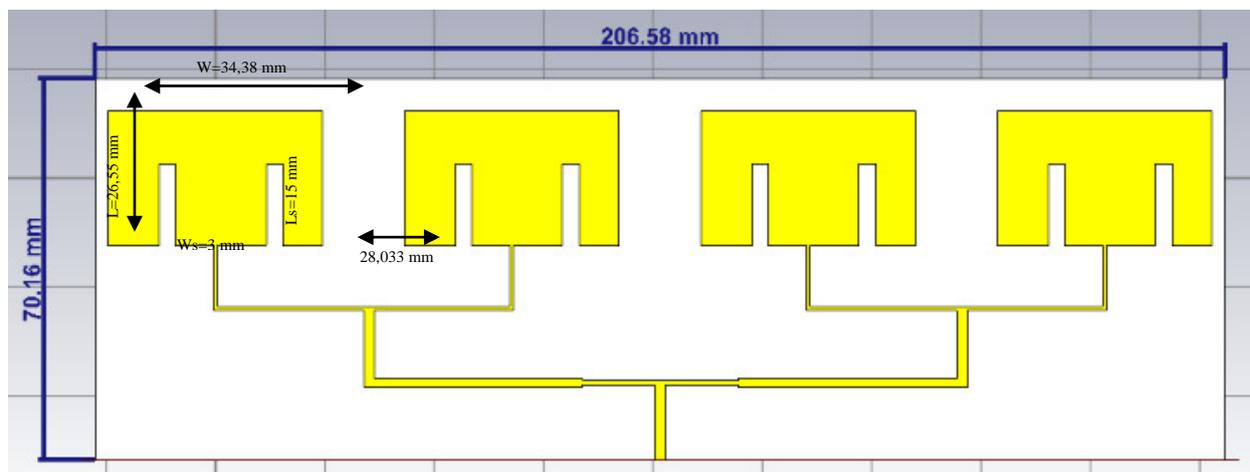
Gambar 4. Grafik Return Loss terhadap Perubahan Lebar Slot (Ws)

Dari hasil simulasi di atas, maka dipilih ukuran slot dengan lebar 3 mm dan panjang 15 mm.

3. Hasil dan Pembahasan

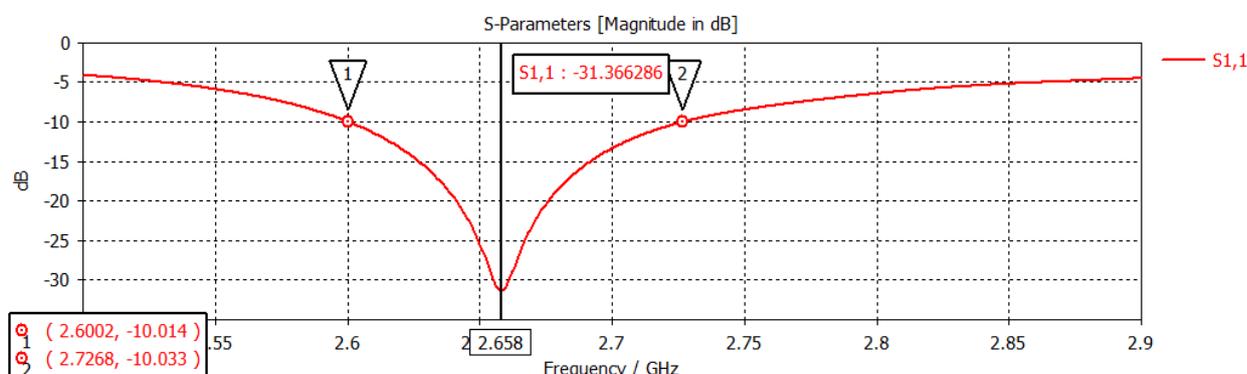
Hasil Simulasi Antena Mikrostrip

Dari hasil perhitungan, diperoleh desain antena *microstrip array* dengan slot 4 *patch* berbentuk *rectangular* menggunakan simulator seperti pada gambar dibawah. Untuk antena *array* ini menggunakan metoda transformator $\frac{1}{4}$ lamda untuk saluran pencatunya.



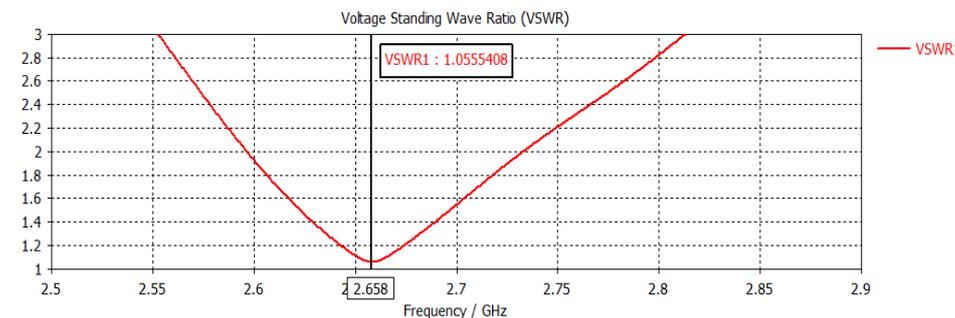
Gambar 5. Rancangan Antena Mikrostrip Slot Array 4 Patch

Pada hasil simulasi ini diperoleh dimensi antena yang sudah menggunakan slot sebesar 144,93 cm dan telah mengalami reduksi sebesar 0,12% dari antena konvensional sebesar 145,104 cm. Parameter yang diamati pada hasil simulasi ini yaitu *return loss*, *gain* dan pola radiasi antena mikrostrip bisa dilihat pada Gambar 6 dan 7. Parameter tersebut adalah tolak ukur dalam mengetahui kinerja antena sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



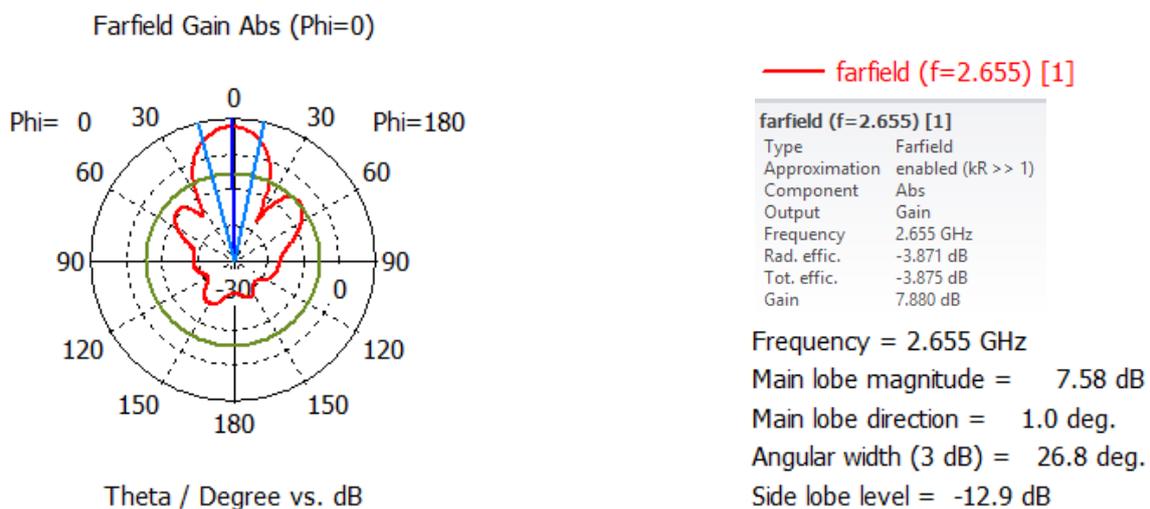
Gambar 6. Return Loss pada Simulator

Berdasarkan Gambar 6, hasil simulasi menunjukkan antena ini bekerja pada *band* frekuensi 2600-2726 MHz dengan *return loss* 31,38 dB pada frekuensi 2658 MHz dan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pada hasil simulasi ini dapat dilihat bahwa *bandwidth* yang diperoleh sebesar 126 MHz.



Gambar 7. Hasil Simulasi untuk VSWR

Berdasarkan Gambar 7, hasil simulasi menunjukkan antena ini bekerja pada 2658 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,05 dan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.



Gambar 8. Simulasi *Radiation Pattern* dan *Gain*

Berdasarkan hasil simulator yang ditunjukkan pada Gambar 8, *gain* antena mikrostrip dengan slot 4 *patch* diperoleh sebesar 7,88 dB dan spesifikasi yang ditentukan sudah terpenuhi.

Hasil Pengukuran

Setelah memperoleh data simulasi karakteristik antena mikrostrip *array* 4 *patch* dengan slot ini, selanjutnya dilakukan realisasi antena dengan melakukan pencetakan dan kemudian dilakukan pengujian langsung dengan melakukan pengukuran *return loss*, pola radiasi dan *gain*. Berikut merupakan hasil pengujian parameter antena yang telah direalisasikan:

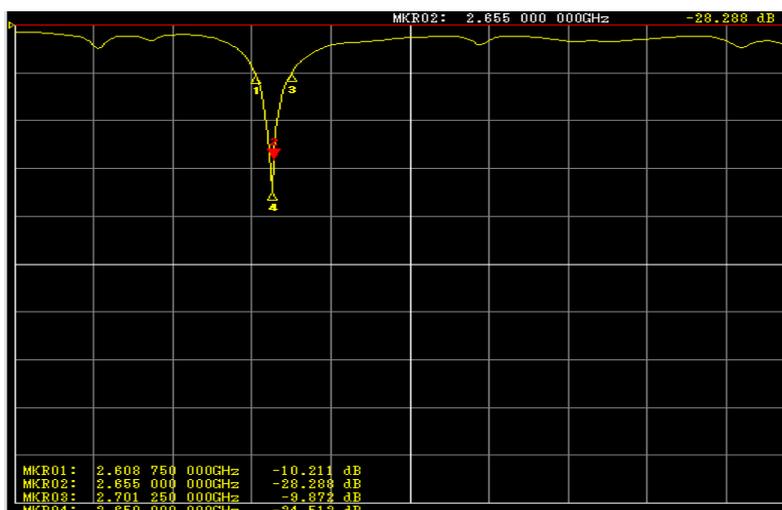


(a) Antena Tampak Depan



(b) Antena Tampak Belakang

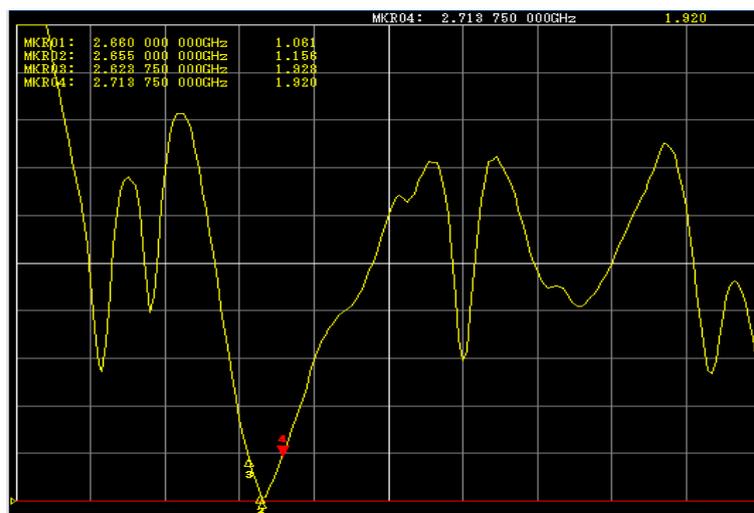
Gambar 9. Antena Mikrostrip Slot Array 4 Patch



Gambar 10. Return Loss Hasil Pengukuran

Gambar 9 menunjukkan antena mikrostrip slot array 4 patch dengan slot setelah dilakukan pencetakan dengan menggunakan bahan substrat FR4 Epoxy dan sudah dihubungkan dengan konektor SMA. Untuk Gambar 10 dan 11 menunjukkan hasil pengukuran parameter antena yaitu return loss dan VSWR.

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 10, diperoleh nilai return loss dari antena mikrostrip slot array 4 patch dengan slot sebesar 34,51 dB pada frekuensi 2660 MHz dengan 10 dB pada frekuensi 2608 MHz sampai dengan 2700 MHz.



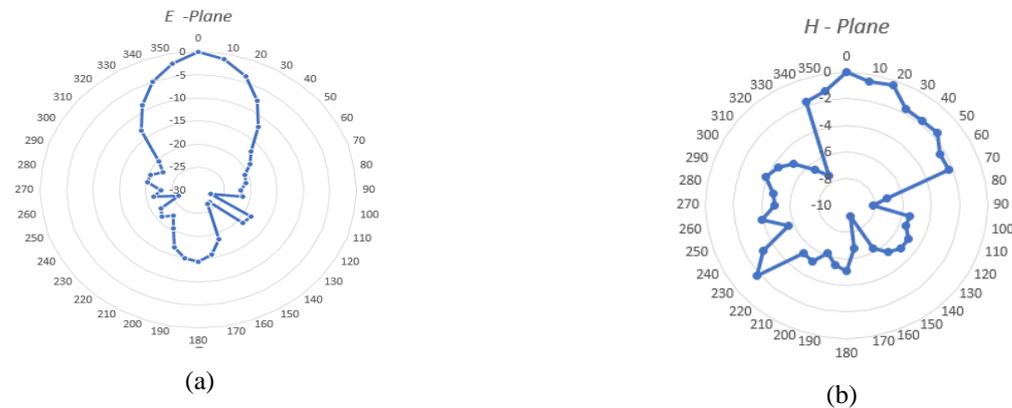
Gambar 11. VSWR Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 8, diperoleh nilai VSWR dari antena mikrostrip slot array 4 patch dengan slot sebesar 1,06 pada frekuensi 2660 MHz.

Tabel 4. Perbandingan Spesifikasi, Hasil Perancangan dan Hasil Pengujian

No	Parameter Antena	Spesifikasi	Hasil Perancangan	Hasil Pengujian
1	Frekuensi, MHz	2620-2690	2600-2726	2608-2701
2	Bandwidth, MHz	70	126	93
3	VSWR	< 2	1,05	1,06
4	Gain, dB	> 7	7,88	7,24
5	Pola Radiasi	Unidirectional	Unidirectional	Unidirectional

Berdasarkan Tabel 4, pada hasil perancangan frekuensi kerja yang diperoleh adalah 2600-2726 MHz sedangkan pada hasil pengukuran adalah 2608-2701 MHz. Hasil *return loss* pada perancangan sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu ≥ 10 dB begitupun dengan hasil pengukuran antenna. Nilai *return loss* diperoleh 31,36 dB pada hasil perancangan dan 34,51 dB pada hasil pengukuran. Untuk hasil *gain* pada hasil perancangan dan hasil pengukuran antenna sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan juga yaitu > 7 dB. Nilai *gain* yang diperoleh pada hasil perancangan yaitu 7,88 dB dan pada hasil pengukuran 7,24 dB. Hasil gain pengukuran ini diperoleh menggunakan antenna referensi saat pengukuran yaitu dengan menggunakan antenna horn.



Gambar 12. Pola Radiasi Hasil Pengukuran

Gambar 12 menunjukkan hasil pola radiasi *E-plane* dan *H-plane* berdasarkan pengukuran. Antena ini memiliki bentuk pola radiasi *unidirectional*. Antena *unidirectional* mempunyai pola radiasi yang terarah dan dapat menjangkau jarak yang relatif jauh. Jenis pola radiasi unidireksional sesuai dengan pola radiasi antenna mikrostrip dan cocok untuk aplikasi LTE.

Kesimpulan

Antena mikrostrip slot *array 4 patch* sebagai antenna penerima untuk aplikasi LTE telah berhasil dilakukan desain dan realisasinya. Hasil simulasi desain menunjukkan antenna bekerja pada band frekuensi 2600-2726 MHz dengan *bandwidth* yang diperoleh sebesar 126 MHz. Untuk hasil pengujian secara langsung menunjukkan antenna bekerja pada band frekuensi 2608-2701 MHz dengan *bandwidth* yang diperoleh sebesar 93 MHz. Oleh karena itu, antenna ini mengalami pelebaran *bandwidth* sebesar 23 Mhz dari yang seharusnya sebesar 70 MHz dengan menggunakan slot. Kemudian diperoleh nilai *gain* pada hasil simulasi yaitu sebesar 7,88 dB dan pada hasil pengukuran diperoleh nilai *gain* sebesar 7,24 dB. Untuk kenaikan *gain* dari satu elemen ke delapan elemen diperoleh sebesar 4,826 dari 3,054. Hasil dari simulasi baik pengukuran untuk parameter pola radiasi pun sudah sesuai yaitu diperoleh pola radiasi jenis *unidirectional*. Sehingga baik hasil simulasi desain maupun hasil pengujian langsung telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan dan mengalami reduksi sebesar 0,12%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Bandung yang telah mendukung dan mendanai dalam menyelesaikan penelitian ini berdasarkan Nomor: B/249.130/PL1.R7/PG.00.03/2020. Penulis pun mengucapkan terima kasih kepada pihak LIPI yang banyak membantu dalam mempersiapkan dan pengujian antenna pada penelitian ini di laboratorium EMC.

Daftar Notasi

- W = Panjang patch antenna [mm]
- L = Lebar patch antenna [mm]
- ϵ_r = Permittivitas relatif dielektrik
- h = Ketebalan dielektrik [mm]

Daftar Pustaka

- Alam, S & Nugroho, R,F. (2018). *Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x1 Untuk Meningkatkan Gain Untuk Aplikasi LTE Pada Frekuensi 2300MHZ*. Jurnal Ilmiah Elektrokrisna, 167-179.
- Atmajaya, A. (2020). *RancangBangun Antena Mikrostrip Dual Band untuk Aplikasi LTE dan Wimax Menggunakan Teknik Pencatuan Proximity Coupled*. SENTER, 211-219.
- Balanis, C.A.(2015). *Antenna Theory : Analysis and Design, fourth edition, Jhon Wiley & Sons, Inc.* Publisher. New Jersey.
- Fauzi, A., Harly, G,S, & Hanrais, H,S. (2012). *Analisis Penerapan Teknologi Jaringan LTE 4G Di Indonesia*. Majalah Ilmiah Unikom, Vol.10, No.2, pp.281-290.
- Gemiharto, I. (2015). *Teknologi 4G-LTE dan Tantangan Konvergensi Media di Indonesia*. Jurnal Kajian Komunikasi, Vol.3, No.2, pp. 212-220.
- Hakim, T,D. (2016). *Studi Penataan Alokasi Pita Frekuensi 1800 MHz Untuk Teknologi LTE*. Jurnal Ilmiah Elektrokrisna, 76-87.
- Ian, P. (2017). 4G LTE Frequency Bands Channels Spectrum. Diakses pada 25 September 2020, dari <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/frequency-bands-channels-spectrum.php#>
- Indah, K,A,T & Manuaba, I,B,P. (2018). *Arsitektur Jaringan Lte (Long Term Evolution) Untuk Mengatasi Backhaul Connection Wifi Pada Rural Area Dengan Teknologi Fourth Generation (4G)*. Jurnal Sains Terapan Teknologi Informasi, Vol.10, No.2, pp.107-112.
- Kumar, R & Malathi, Ganesh,G. (2007). *On the Miniaturization of Printed Rectangular Microstrip Antenna for Wireless Applications. Journal IEEECommunications and Networking, 334-336*.
- Mardian, R,D., Agoes, S & Riffany ,R,S. (2018). *Perancangan Aplikasi Pelaporan Berbasis Android pada Komunikasi Jaringan Data 4G*. Seminar Nasional Teknologi Industri, 2622-2629.
- Peng, L., Xie, J., & Sun,K. (2016). *Resonance – Based Reflector and Its Application in Unidirectional Antenna with Low-Profile and Broadband Characteristics for Wireless Application. Jurnal Sensors, Vol.16, No.12, pp.2092*.
- Pontoan, E,M. (2011). *Perancangan dan Implementasi Antena Mikrostrip Slot Rectangular Array untuk Aplikasi GPS*. Bandung: Universitas Telkom.
- Samsul, M, S. (2015). *Perancangan Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 2,3GHz Untuk Aplikasi LTE(Long Term Evolution)*. Jakarta: Unsada.
- Septayadi, M. (2018). *Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang dengan U Slot dan Proximity Coupled untuk WiFi 5,5 GHz*. Bandung: Universitas Telkom.
- Sharma, A & Kanaujia, B,K. (2013). *Compact Microstrip Antenna Loaded with T-Shaped Slots. International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP),India*.
- Sofyan, F. (2017). *Analisis Performansi Jaringan Long Term Evolution(LTE) Di Kota Bandung Menggunakan Metode Drivetest*. Bandung : UIN.
- Wong, K,L. (2002). *Compact and Broadband Microstrip Antennas*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Wurth,E.(2020).https://www.wedirekt.pt/web/media/16_wedirekt/spezifikationen/leiterplatten_daten_downloads/FR4TG135DS_UK.