

ANTENA MIKROSTRIP CELAH PERSEGI PITA GANDA UNTUK e-NodeB LTE 1,8 DAN 2,3 GHz

DUAL BAND MICROSTRIP ANTENNA SQUARE APERTURE

FOR e-NodeB LTE 1,8 AND 2,3 GHz

Agung Rachman¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹agungrahman@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroewijanto@telkomuniversity.ac.id, ³yuyuwahyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Long Term Evolution (LTE) merupakan salah satu sistem seluler versi mutakhir saat ini telah dikembangkan di dunia teknologi. LTE sendiri bekerja pada banyak frekuensi, salah satunya adalah 1,8 GHz. Digunakan antenna mikrostrip dengan alasan antenna mikrostrip memiliki keuntungan berbentuk kompak dengan dimensi yang kecil, mudah untuk difabrikasikan, mudah dikoneksikan dan mudah diintegrasikan dengan perangkat lainnya. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat 4G LTE pada frekuensi 1,8 GHz untuk 4G LTE sehingga pada penelitian ini dibuat antenna mikrostrip *patch rectangular* dengan *dual* frekuensi di 1,8 GHz dan 2,3 GHz dengan tujuan untuk teknologi 4G mendatang akan digunakan spektrum frekuensi di 2,3 GHz

Pada tugas akhir ini akan dirancang antenna mikrostrip dengan *patch rectangular* dan *slot rectangular* untuk menghasilkan *dual band*. Kelemahan dari antenna mikrostrip adalah *gain* dan *bandwidth* yang tidak maksimal, oleh karena itu pada proposal kali ini digunakan teknik catu daya *Electromagnetically coupled* (EMC) untuk menghasilkan *bandwidth* dan *gain* yang lebih besar.

Antena direalisasikan dengan menggunakan dua buah substrat yaitu Rogers Duroid ($\epsilon_r = 2.2$ dan ketebalan substrat = 1.57 mm) dan FR-4 Epoxy ($\epsilon_r = 4.6$ dan ketebalan substrat = 1.6 mm) dengan dimensi (127.25 mm x 101.7562 mm). Setelah dilakukan pengukuran antenna bekerja pada dua frekuensi yaitu 1,8 dan 2,3 GHz dengan *bandwidth* masing-masing 75 Mhz & 60 Mhz, *gain* 5,04 dB & 2,04 dB, polarisasi elips dan pola radiasi unidireksional

Kata Kunci: LTE, *Electromagnetically Coupled*, *Dual Band*, Antena Mikrostrip

Abstract

Long Term Evolution (LTE) is one of the latest versions of cellular systems currently developed in the technology world. LTE itself works on many frequencies, one of them is 1.8 GHz. Microstrip antennas are used for the reason that microstrip antennas have the advantage of being compact and its dimensions that are small, easy to fabricate, easy to connect and easy to integrate with other devices. In previous research has made 4G LTE at 1.8 GHz frequency for 4G LTE so that in this research create a rectangular patch antenna microstrip with dual frequency at 1.8 GHz and 2.3 GHz in order for the next 4G technology will use a 2,3 GHz frequency spectrum.

In this final project will be designed microstrip antenna with rectangular patch and rectangular slot to produce dual band. The weakness of microstrip antenna are gain and bandwidth that are not maximal, therefore in this proposal used Electromagnetically coupled (EMC) power supply to produce bigger bandwidth and gain.

The antenna is realized by using two substrate namely Rogers Duroid ($\epsilon_r = 2.2$ and substrate thickness = 1.57 mm) and FR-4 Epoxy ($\epsilon_r = 4.6$ and substrate thickness = 1.6 mm) with dimensions (127.25 mm x 101.7562 mm). After the measurement, the antenna works on two frequencies of 1.8 and 2.3 GHz with bandwidths of 75 Mhz & 60 Mhz, 5.72 dB & 3.7 dB gain, elliptical polarization and unidirectional radiation pattern

Keywords: LTE, *Electromagnetically Coupled*, *Dual Band*, Microstrip Antenna

Pendahuluan

Long Term Evolution adalah sebuah standar komunikasi nirkabel tingkat tertinggi saat ini dengan basis utama Global System For Mobile Communication (GSM) / Enhanced Data Rates For GSM Evolution (EDGE) dan Universal Mobile Communication System (UMTS) / High Speed Packet Access (HSPA) yang bertujuan untuk memperbaiki standar mobile phone 3G, dioperasikan pada spektrum nirkabel yang terpisah dari 2G dan 3G karena jaringan antar muka nya yang berbeda. Keuntungan dari teknologi LTE yaitu dapat mengirimkan *downlink* dan *uplink* yang lebih besar dibanding teknologi sebelumnya HSPA, jika HSPA hanya mampu mengirimkan *downlink* dan *uplink* sebesar 14 Mbps dan 5,6 Mbps maka LTE dapat mengirimkan *downlink* dan *uplink* sebesar 300 Mbps dan 75 Mbps.^[6] Pada penerapannya LTE menggunakan metoda *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) untuk mentransmisikan datanya melalui operatur spektrum radio sebesar 180 KHz. OFDM melakukan transmisi dengan cara membagi aliran data menjadi banyak aliran yang lebih lambat kemudian secara serentak ditransmisikan. Arsitektur LTE sendiri biasa disebut *System Architecture Evolution* (SAE).^[1]

Pada penelitian kali ini digunakan jenis antenna yaitu antenna mikrostrip dengan celah dimana celah tersebut berfungsi untuk memberikan *dual band* yaitu di frekuensi 1,8 GHz dan 2,3 GHz. Masing masing dari band ini

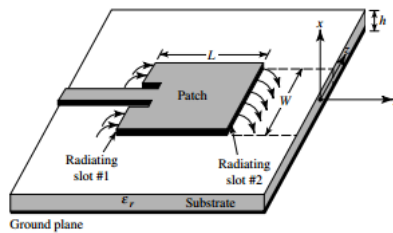
mempunyai nilai *bandwidth* yang berbeda-beda, untuk 1,8 GHz dibutuhkan nilai *bandwidth* 75 MHz sedangkan untuk 2,3 GHz dibutuhkan nilai *bandwidth* 60 MHz. Antena mikrostrip dengan celah ini juga dirancang dengan menggunakan metoda *Electromagnetically Coupled* (EMC) yang diharapkan dapat menambah *bandwidth* antena. EMC adalah sebuah teknik catu daya dimana pada perancangannya menggunakan 2 buah substrat dengan nilai tangensial yang berbeda-beda, Antena mikrostrip *patch* terletak di atas substrat atas dan *feed line* catuan terletak di atas substrat yang lebih rendah.^[9]

Jenis substrat yang digunakan adalah Rogers Duroid 5880 ($\epsilon_r = 2.2$) dan FR-4 Epoxy ($\epsilon_r = 4.6$). Perancangan antena ini menggunakan software CST Studio Suite.

1. Dasar Teori

2.1 Antena Mikrostrip

Antena merupakan sebuah perangkat transisi atau transformator yang dapat mengubah besaran listrik dari gelombang tembung menjadi gelombang elektromagnetik (GEM) untuk ditransmisikan ke udara bebas atau sebaliknya. Berdasarkan asal katanya, mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu *micro* (kecil) dan *strip* (bilah/potongan). Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti bilah/potongan yang mempunyai ukuran kecil.^[2]



Gambar 2.12 Antena Mikrostrip^[2]

Antena mikrostrip terdiri atas 3 bagian, yaitu *patch*, substrat, dan *groundplane*. Pada umumnya, *patch* terbuat dari logam konduktor seperti tembaga atau emas dan memiliki bentuk yang bermacam-macam seperti segi empat, segi tiga, lingkaran, dan lain-lain. *Patch* berfungsi sebagai pemancar (radiator). Substrat terbuat dari bahan-bahan dielektrik, yang biasanya mempunyai tinggi (h) yang berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan ke *patch*. *Groundplane* berfungsi sebagai pemantulan sempurna.^[2]

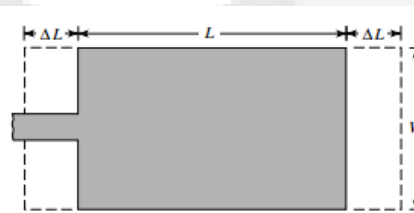
2.2 Antena Dual Band

Ada berbagai macam teknik yang bisa digunakan untuk merancang antena sehingga bisa difungsikan sebagai antena *dual band*, diantaranya dengan menggabungkan dua *patch* antena mikrostrip yang ukurannya berbeda sehingga menjadi satu buah antena. Atau dengan menambahkan beban reaktif pada bagian *patch* antena. Pada perancangan antena kali ini menggunakan teknik pemberian celah atau lubang pada *patch* antena mikrostrip sehingga dapat menghasilkan *dual band*.^[3]

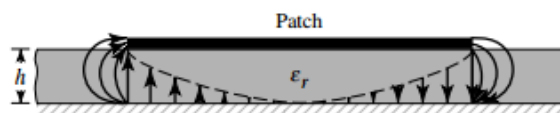
Teknik memberikan celah pada *patch* dipilih karena dinilai paling sederhana dalam membentuk antena *dual band*, mudah dalam melakukan optimasi dan membutuhkan material yang minim.

2.3 Desain Mikrostrip Patch Rectangular

Mikrostrip *Patch Rectangular* adalah salah satu yang paling mudah dan paling banyak digunakan dalam perancangan *patch* antena mikrostrip, desain dan parameter *patch* terdiri dari dimensi *Width* (W) atau lebar, *Length* (L) atau panjang dan *Height* (h) atau tinggi.^[2]



Gambar 2.13 Patch Rectangular Tampak Atas.^[2]



Gambar 2.14 Patch Rectangular Tampak Samping.^[2]

Syarat untuk menghitung W (lebar) adalah $W < \text{panjang gelombang } (\lambda)$ dan $W/h < 1$. Nilai W dapat dicari dengan rumus sebagai berikut^[4]

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Dimana f_r adalah frekuensi resonansi yang diinginkan, c adalah kecepatan cahaya dan ϵ_r nilai substrat dielektrik yang mana harus bernilai lebih dari 1.^[2]

Setelah mendapatkan lebar (W) patch selanjutnya parameter panjang (L) patch dibutuhkan, sedangkan karena *fringing effect* maka untuk mencari parameter L dibutuhkan parameter ΔL dan L_{eff} dengan persamaan sebagai berikut^[4]

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{\epsilon_{reff} + 0.3 \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{\epsilon_{reff} - 0.258 \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}, \quad (2.2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{(2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}})}. \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan nilai ΔL dibutuhkan parameter konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) yang bisa didapat dengan persamaan sebagai berikut^[4]

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (2.4)$$

Setelah mendapatkan nilai ϵ_{reff} , ΔL dan L_{eff} maka nilai L dapat dicari dengan rumus sebagai berikut^[4]

$$L = L_{eff} - 2\Delta L. \quad (2.5)$$

Adapun rumus untuk menghitung *ground plane* pada *patch* sebagai berikut

$$A_g = 6h + A. \quad (2.6)$$

Dimana h adalah tinggi substrat dan A adalah lebar (W) dan panjang (L) patch antenna mikrostrip.

Untuk mendapatkan lebar *Microstrip Line* yang diinginkan sesuai spesifikasi menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{W}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{untuk } \frac{W}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[(B - 1 - \ln(2B - 1)) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{untuk } \frac{W}{h} > 2 \end{cases}. \quad (2.7)$$

Dan untuk mendapatkan nilai parameter B digunakan persamaan sebagai berikut

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}. \quad (2.8)$$

Dimana Z_0 adalah impedansi input dan ϵ_r adalah substrat dielektrik.

Sedangkan untuk mendapatkan panjang *Microstrip Line* yang diinginkan sesuai spesifikasi digunakan persamaan sebagai berikut

$$l_f = \frac{\lambda_g}{4}, \quad (2.9)$$

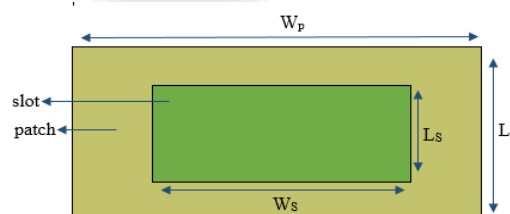
$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}, \quad (3.0)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_r}}. \quad (3.1)$$

Dimana l_f adalah panjang *Microstrip Line*, sedangkan λ_0 adalah lambda bahan dan λ_g adalah lambda *feed* yang dipakai.

2.4 Celah Pada Patch

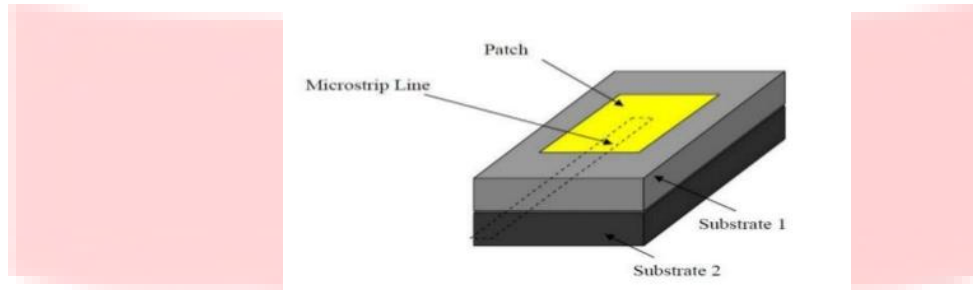
Pemberian *slot* pada *patch* bertujuan untuk memberikan *dual band* pada antenna, dengan mempertimbangkan nilai *groundplane* yang terbatas pada antenna mikrostrip sehingga bentuk dari *slot* itu sendiri akan menghasilkan *bidang* lain yang teradiasi.^[11]



Gambar 2.15 Slot Patch Rectangular

2.5 Electromagnetically Coupled

Teknik catu daya EMC atau bisa disebut juga *Proximity coupled feeding* terdiri dari dua lapisan substrat dielektrik. Antena mikrostrip *patch* terletak di atas substrat atas dan garis mikrostrip catuan terletak di atas substrat yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada gambar ini adalah catuan non kontak langsung, catuan ini dilakukan melalui kopling elektromagnetik yang terjadi antara patch dan mikrostrip.^[9]



Gambar 2.16 *Proximity Coupled/Electromagnetically Coupled.*^[10]

Kelebihan dari penggunaan EMC adalah mampu menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar sedangkan kekurangannya ialah penggunaan dua substrat yang menghabiskan biaya lebih mahal dibandingkan dengan satu substrat.

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Penentuan Spesifikasi Perancangan Antena

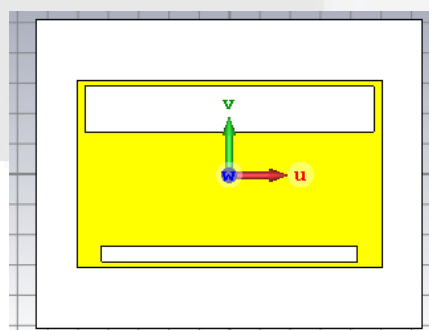
Spesifikasi dalam perancangan antena mikrostrip *dual band* pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel Spesifikasi Bandpass Filter

Frekuensi pita	1.77 – 1.845 Ghz & 2.27 – 2.33 Ghz
Frekuensi Tengah	1.8 GHz & 2.3 GHz
VSWR	≤ 2
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
Polarisasi	Linier
Gain	≥ 2 dB
<i>Bandwith</i>	75 Mhz & 60 Mhz
Impedansi	50 Ω

3.2 Simulasi dan Optimasi Antena Mikrostrip Dual Band

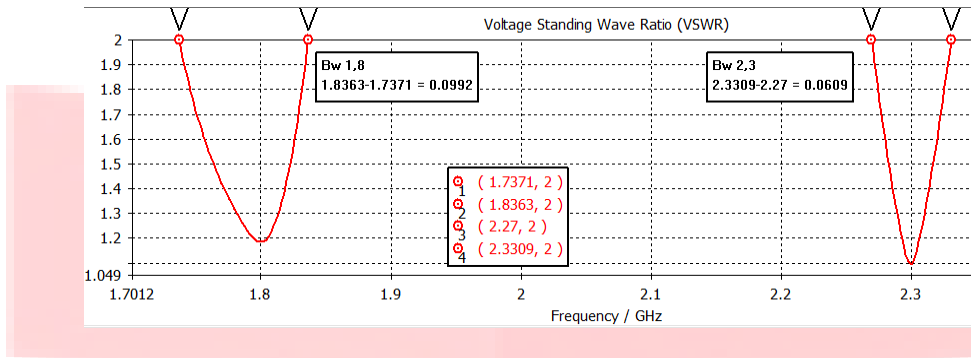
Setelah menghitung semua parameter yang penting pada antena, langkah yang harus dilakukan adalah melakukan simulasi dari hasil perhitungan di *software CST Studio Suite*. Jika hasil belum mencapai spesifikasi yang ditentukan, maka optimasi dilakukan sampai hasil yang didapat sesuai spesifikasi yang diinginkan.



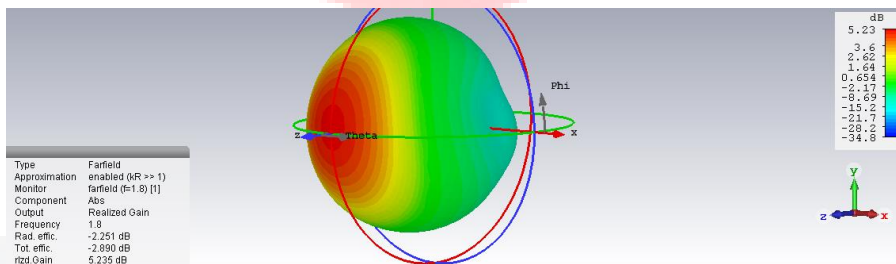
Gambar 4 Antena Mikrostrip Dengan Celah setelah dioptimasi

Dari hasil optimasi akhir dihasilkan *dual band* dengan rentang frekuensi 1,7371-1,8363 GHz & 2,27-2,3309 GHz dan return loss sebesar -21,46 dB pada frekuensi 1,8 GHz dan -27,04 dB pada frekuensi 2,3 GHz. *Gain* yang dihasilkan

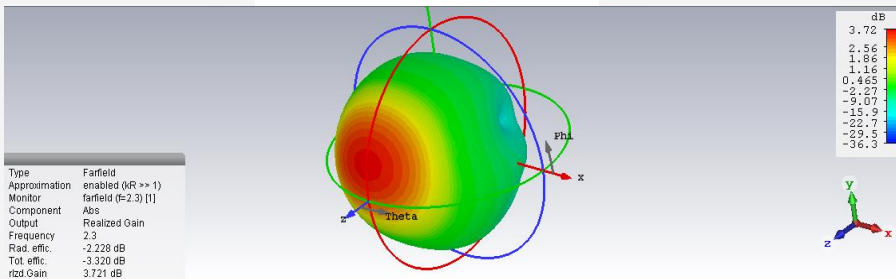
adalah 5,73 dB dan 3,7 dB dengan pola radiasi unidireksional dan polarisasi linier. Berikut hasil simulasi yang dilakukan pada *software CST Studio Suite*.



Gambar 5 Hasil Simulasi VSWR & Bandwidth



Gambar 6 Gain 1,8 GHz



Gambar 7 Gain 2,3 GHz

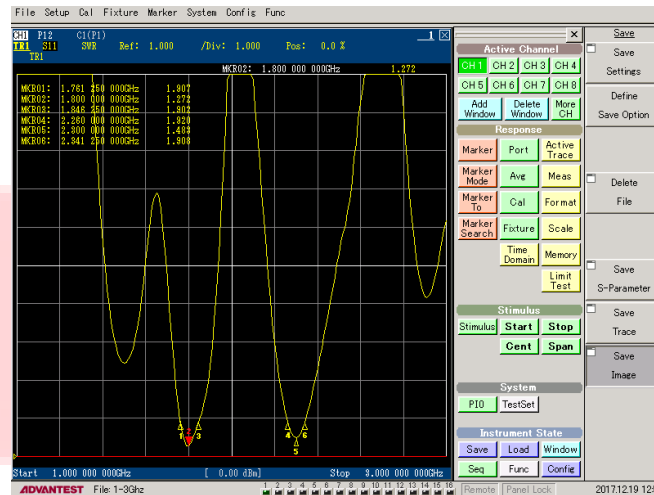
4. HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP DUAL BAND

4.1 Realisasi dan Analisis Pengukuran Antena Mikrostrip Dual Band Dengan Catu Daya EMC

Realisasi perancangan menghasilkan antena mikrostrip yang mempunyai dimensi substrat 127.25mm x 101.7562mm dan dimensi patch 100.45mm x 61.7562mm dengan material substrat RT Duroid 5880 dan FR-4 Epoxy dengan ketebalan masing-masing substrat adalah 1,57mm dan 1,6mm. Sedangkan untuk luas celah diatas adalah 95,05mm x 15 mm dan untuk celah dibawah adalah 84,45 mm x 5 mm.

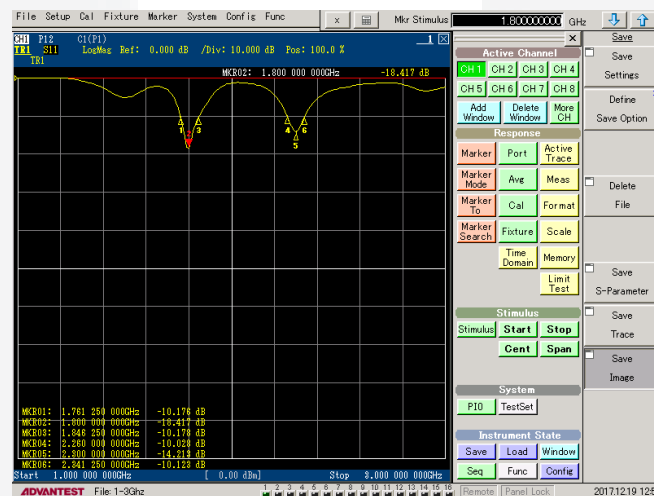


Gambar 7 Realisasi Antena Mikrostrip



Gambar 8 Hasil Pengukuran VSWR pada hasil realisasi

Pengukuran VSWR yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi awal, yaitu ≤ 2 . Namun hasil yang didapatkan berbeda dari hasil simulasi sebelumnya. Dari hasil pengukuran yang didapat terlihat VSWR pada frekuensi kerja 1,8 GHz yang ditunjukkan oleh marker “2” adalah 1,272 dan pada frekuensi 2,3 GHz yang ditunjukkan oleh marker “5” adalah 1.483. Hal ini juga dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan proses fabrikasi dan penyolderan konektor pada PCB yang mengakibatkan perubahan nilai VSWR yang cukup signifikan namun masih dapat diterima karena nilai ini masih sesuai dengan spesifikasi awal. Dari hasil pengukuran VSWR ini juga bisa didapat nilai *bandwidth* pada antenna dimana dilihat dari marker “1” & “3” rentang frekuensi 1,8 GHz memiliki *bandwidth* sebesar 85 MHz sedangkan dilihat dari marker “4” & “6” rentang frekuensi 2,3 GHz memiliki *bandwidth* sebesar 81 MHz.



Gambar 9 Hasil Pengukuran Parameter S11 pada hasil realisasi

Pengukuran pada parameter S1,1 menunjukkan hasil yang cukup sesuai dengan spesifikasi awal, meskipun hasilnya tidak sesuai dengan simulasi yang sudah dilakukan yang dipengaruhi oleh pabrikan yang tidak sempurna. Pada gambar hasil pengukuran dapat dilihat melalui marker “2” nilai *return loss* pada frekuensi 1,8 GHz sebesar -18,417 dB dan pada marker “5” nilai *return loss* pada frekuensi 2,3 GHz sebesar -14,213 dB.

Dari hasil pengukuran maka dapat diketahui *Gain* yang didapat dari hasil pengukuran, besarnya *gain* yang didapat adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran *Gain*

Frekuensi	Gain Rata-Rata (G2)
1,8 GHz	5,04 dB
2,3 GHz	2,04 dB

Gain antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum suatu antenna (AUT) terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan daya input sama. Dimana antenna referensi yang baik adalah antenna isotropis yang mempunyai penguatan yang sama di setiap titik. Berdasarkan analisis *link budget* didapat persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} Prx &= Ptx - Lftx + Gtx - LFS + Grx - Lfrx \\ Gtx + Grx &= Prx - Ptx + Lftx + Lfrx + LFS \end{aligned} \quad (4.2)$$

Ptx = Power Transmit (dBm)

Prx = Power Receive (dBm)

$Lftx$ = Loss Feeder in Transmitter (dB)

$Lfrx$ = Loss Feeder in Receiver (dB)

LFS = Loss Free Space = $92.45 + 20 \log f$ (GHz) + $20 \log d$ (km) (dB); d = jarak pengukuran.

Gtx = Gain Transmitter (dBi) Grx = Gain Receiver (dBi)

Dalam pengukuran *gain* antenna digunakan metode perbandingan yang menggunakan tiga buah antenna yaitu antenna horn (1), antenna yang akan diuji (AUT) (2) dan antenna referensi single *patch* (3). Pengukuran dilakukan dalam 3 kombinasi, kombinasi pertama adalah ketika antenna *horn* dijadikan sebagai pengirim dan AUT sebagai penerima, kombinasi kedua adalah ketika antenna *horn* dijadikan sebagai pengirim dan antenna referensi sebagai penerima dan kombinasi ketiga adalah ketika antenna referensi dijadikan sebagai pengirim dan AUT sebagai penerima. Dari ketiga kombinasi tersebut didapat persamaan berikut ini.

$$A = G1 + G2 = Prx - Ptx + Lft + Lfr + Lfs$$

$$B = G1 + G3 = Prx - Ptx + Lft + Lfr + Lfs$$

$$C = G2 + G3 = Prx - Ptx + Lft + Lfr + Lfs$$

Dari ketiga persamaan tersebut dilakukan operasi aljabar pada 3 persamaan dengan 3 variabel, menghasilkan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} G1 &= \frac{A + B - C}{2} \\ G2 &= \frac{A - B - C}{2} \\ G3 &= \frac{-A + B + C}{2} \end{aligned}$$

4.2 Rangkuman Analisis Perbandingan Hasil Spesifikasi

Rangkuman dibuat untuk mengetahui apakah antenna yang telah dibuat sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dengan membandingkan hasil pengukuran saat simulasi awal, selesai optimasi akhir, dan realisasi. Berikut tabel hasil perbandingan saat simulasi awal, optimasi akhir, dan hasil pengukuran:

Tabel 4.5 Perbandingan Simulasi Dan Realisasi Di Frekuensi 1,8 GHz

Parameter Antena	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	Spesifikasi Kebutuhan
VSWR	1.184	1,272	≤ 2
<i>Return loss</i>	-21,465 dB	-14,213 dB	< -10 dB
<i>Gain</i>	5,23 dB	5.04 dB	> 2 dB
Impedansi	42.485+j2.144 Ω	55.967+j11.309 Ω	50 Ω
<i>Bandwidth</i> Antena	99,2 MHz (1,7371-1,8363) MHz	85 MHz (1.761 – 1.846)MHz	75 MHz (1.763-1.838) MHz
Pola radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional
polarisasi	Linear	Linear	Linear

Tabel 4.6 Perbandingan Simulasi Dan Realisasi Di Frekuensi 2,3 GHz

Parameter Antena	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	Spesifikasi Kebutuhan
VSWR	1.093	1,272	≤ 2
<i>Return loss</i>	-27,04 dB	-18,417 dB	< -10 dB
<i>Gain</i>	3,72 dB	2.04 dB	> 2 dB
Impedansi	54,591902,-j0,072 Ω	50.994-j20.019 Ω	50 Ω
<i>Bandwidth</i> Antena	60,09 MHz (2,27-2,3309) MHz	81 MHz (2.260 – 2.341) MHz	60 MHz (2.270-2.330) MHz
Pola radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional
polarisasi	Linear	Linear	Linear

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah dirancang antenna mikrostrip *dual band patch* bercelah dengan catu daya EMC. Berdasarkan hasil simulasi dan hasil pengukuran serta analisis yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Antena yang dirancang telah berhasil direalisasikan dan bekerja dengan cukup baik dan nilai parameter-parameter yang diinginkan dari simulasi sampai realisasi masih sesuai spesifikasi awal.
2. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran-ukuran dari beberapa parameter antena, seperti mengubah ukuran parameter *patch*, *ground plane*, *feed line* dan ukuran celah.
3. Antena mikrostrip yang dirancang di frekuensi 1,8 GHz memiliki VSWR 1,272, *return loss* -14,213 dB, *gain* 5,72 dB, *bandwidth* 85 MHz dan impedansi $55.967+j11.309 \Omega$
4. Antena mikrostrip yang dirancang di frekuensi 2,3 GHz memiliki VSWR 1,483, *return loss* -18,417 dB, *gain* 3,7 dB, *bandwidth* 81 MHz dan impedansi $50.994-j20.019 \Omega$
5. Penggunaan teknik pencatutan *Electromagnetically Coupled* (EMC) sangat cocok dengan kebutuhan spesifikasi antena, karena antena dapat memiliki *bandwidth* yang lebih lebar.

5.2 Saran

Saran yang dapat dijadikan pedoman untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode yang sama adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada perancangan di simulator, sebaiknya lebih memperhatikan cara perancangan antena pada modul-modul simulator yang sudah disediakan agar hasil yang didapatkan tidak jauh dari hasil realisasi.
2. Jika ingin memperoleh antena mikrostrip yang baik maka bahan dielektrik dapat diganti dengan bahan lain yang memiliki nilai konstanta dielektrik yang lebih rendah seperti duroid ($\epsilon_r=2,2$) dan teflon ($\epsilon_r=2,08$)
3. Proses fabrikasi sangat perlu diperhatikan, setiap ukuran dari tiap komponen parameter antena harus sesuai dengan hasil yang didapatkan pada optimasi sebelumnya di simulator, agar hasil yang telah di-etching pada PCB sesuai dengan perancangan.
4. Pemilihan substrat sebaiknya diperhatikan dengan betul. Agar hasil lebih baik, dapat memilih bahan substrat dengan nilai Untuk mendapatkan hasil pengukuran realisasi yang lebih baik, sangat disarankan untuk menambahkan shielding pada antena. Dengan menggunakan shielding, akan mengurangi gangguan (interferensi) radiasi dari gelombang-gelombang elektromagnetik di sekitar ruangan pengukuran.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Ananto (2009). Sekilas Tentang Komunikasi Seluler. From <https://anantoep.wordpress.com/2009/12/16/sekilas-tentang-sistem-komunikasi-seluler/>.
- [2] Balanis, Constantine A. *Antena Theory Analysis and Design 3rd Edition*. United Science: Wiliey Inter Science, 2005.
- [3] Mega Gustiani, Budi Prasetya, Yuyu Wahyu. "Perancangan Dan Implementasi Antena Mikrostrip Dual Band Pada Frekuensi Kerja 1,5 GHz dan 2,5 GHz" 2010.
- [4] Amit Sharma, Atal Rai, Reeta Verma. "Design and Simulation of Dual Band Rectangular Patch Antenna for Bluetooth & Wimax Applications" 2013.
- [5] Bowick, Chris. *RF Circuit Design*. An Imprint of Butterworth Heinemann: Newnes, 1982.
- [6] Teknokita (2016). Apa itu 4G LTE, Jaringan Internet LTE. From <http://www.teknokita.com/apa-itu-4g-lte/>.
- [7] Slamet Pranoto (2015). Arsitektur LTE. From <http://teknologi-4g-lte.blogspot.co.id/2015/05/arsitektur-lte.html>.
- [8] W.C. Chew. "Impedance Matching On Transmission Line". ECE 350 Lecture Notes, 2010.
- [9] Taufal Hidayat, Fitri Yuli Zulkifli, Basari, Eko Tjipto Rahadjo, "Bandwidth and Gain Enhancement Of Proximity Coupled Microstrip Antenna Using Side Parasitic Patch" 2013
- [10] Halaman Rumah (2014), *Square Microstrip Patch Antenna*. From <http://lib.znate.ru/docs/index-149720.html?page=4>,
- [11] Kraus, John D., Marhefka, Ronald J. *Antennas For All Applications 3rd Edition*. Mc-Graw Hill, 2003.
- [12] Tim Study Group 4G LTE. "Alokasi Pita Frekuensi Radio Untuk Komunikasi Radio Teknologi Keempat (4G)" 2015
- [13] Nataran, V. "Comparative Evaluation of Some Empirical Design Techniques for CAD Optimization of Wideband U-Slot Microstrip Antennas" 2005