

PENINGKATAN GAIN ANTENA MIKROSTRIP MENGGUNAKAN METAMATERIAL SEBAGAI REFLEKTOR DALAM KOMUNIKASI 5G DI FREKUENSI 3,5 GHz

ENHANCEMENT GAIN MICROSTRIP ANTENNA USING METAMATERIAL AS REFLECTOR FOR 5G COMMUNICATION ON 3,5 GHz FREQUENCY

Gavin Faiz Herald¹, Levy Olivia Nur², Edwar³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹gavinfaiz@students.telkomuniversity.ac.id, ²levyolivia@telkomuniversity.ac.id,

³edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Antena adalah salah satu komponen penting dalam telekomunikasi. Akhir – akhir ini perkembangan antena yang bersifat *compact* dan berkembang dengan sangat cepat, hal ini diakibatkan karena meningkatnya kebutuhan perangkat telekomunikasi yang semakin kecil. Antena juga merupakan salah satu komponen telekomunikasi yang digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal, salah satunya adalah mikrostrip antena yang bersifat *compact* dan ringan. Salah satu implementasinya adalah mikrostrip antena untuk teknologi 5G. 5G telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir dan menjadi kebutuhan bagi manusia seperti kebutuhan akan pengiriman informasi berkecepatan tinggi. Oleh karena itu dalam proyek tugas akhir ini penulis akan membuat desain mikrostrip antena yang bekerja pada frekuensi 3.4 – 3.8 GHz dan memfokuskan dengan *gain* yang lebih besar dengan menggunakan *Software CST Microwave Studio 2019*. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, penggunaan *metamaterial* sebagai reflektor untuk meningkatkan *gain* antena yang cukup signifikan dibanding mikrostrip – *patch* yang tidak menggunakan *metamaterial*. *Metamaterial* sebagai reflektor digunakan untuk menembus batasan untuk menemui spesifikasi dan mobilitas yang dibutuhkan oleh mikrostrip antena untuk teknologi 5G yang bisa diimplementasikan dalam jaringan di Indonesia. Proyek tugas akhir ini menggunakan *metamaterial* sebagai reflektor untuk mikrostrip antena yang bekerja di frekuensi 3.5 GHz. Hasil akhir dari antena ini adalah mikrostrip antena bekerja di frekuensi 3.5 GHz dengan pola radiasi *omnidirectional*, *return loss* -20,22 dB, dan *gain* adalah 5,1 dBi.

Kata Kunci : Satelit Compact 5G, Metamaterial, Mikrostrip antena

Abstract

Antenna is one of important component in telecommunication. Lately development of compact antenna growing so fast, it's happening because increase of needing telecommunication device that getting smaller. Antenna is one of component in telecommunication used to transmit and receive signal, one of that component is microstrip that compact and light. One of implementation is microstrip antenna for 5G communication. 5G has developed for the last couple years and becoming important need for human for sending high speed information. Because of that in this project, writer will design microstrip antenna metamaterial works at 3.4 - 3.8 GHz and focusing on bigger gain with Software CST Microwave Studio 2019. To make ends meet, using metamaterial as reflector to increase gain antenna quite significant rather than microstrip - patch who didn't use metamaterial. Metamaterial as reflector to break the boundaries to find specification and mobility who need by microstrip antenna for 5G communication that can be implemented in Indonesia network. This project using metamaterial antenna in 3.5 GHz frequency. This antenna works at 3.5 GHz with omnidirectional pattern, return loss -20,732 dB, and gain is 5,1 dBi.

Keywords : Compact 5G, Metamaterial, Microstrip antenna

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi pada zaman sekarang sudah berkembang, khususnya dalam bidang teknologi telekomunikasi. Perkembangan teknologi telekomunikasi diminta banyak permintaan oleh masyarakat dalam bidang telekomunikasi untuk kecepatan untuk mengakses internet. Salah satu teknologi dengan kecepatan tinggi memberikan layanan internet terbaru ini adalah fifth generation (5G). Teknologi 5G juga diharapkan akan mengubah kehidupan keseharian di masa depan. Dengan fitur kelebihan teknologi terbaru ini seperti *bandwidth* lebih besar, *gain* lebih besar, dan servis yang dapat diandalkan, dengan kelebihan ini diharapkan dapat memudahkan aktivitas manusia dari aktivitas bisnis sampai hiburan.[1]. 5G diharapkan dapat menyediakan

komunikasi jaringan mobile 100 – 1000 kali pengiriman data lebih cepat dibandingkan dengan pengiriman data yang sudah ada sekarang [2]. Ketika peningkatan kualitas jaringan akan diikuti dengan pengembangan infrastruktur, koneksi yang luas, mempunyai dimensi kecil, dan dapat dibawa. Salah satu contohnya adalah antena yang bersifat compact. Salah satu antena yang bersifat compact adalah mikrostrip antena. Namun *gain* dari mikrostrip antena masih jauh dari persyaratan kebutuhan, sehingga membutuhkan *gain* yang lebih besar lagi, oleh karena itu agar mendapatkan *gain* lebih besar dapat menggunakan struktur *metamaterial* sebagai reflektor. *Metamaterial* adalah suatu struktur buatan yang didesain sehingga memiliki sifat elektromagnetik yang tidak ada di alam, karena penggunaan *metamaterial* dapat memberikan permitivitas dan permeabilitas negatif [4]. Untuk meningkatkan *gain*, permukaan *metamaterial* dimanfaatkan sebagai reflektor karena karakteristik refleksi di dalam fasanya dan sifat impedansi yang tinggi dapat meningkatkan *gain* dari antena [5]. Penelitian ini menggunakan mikrostrip antena yang berkerja di frekuensi 3.5 GHz untuk komunikasi 5G dengan menambahkan struktur *metamaterial* sebagai reflektor untuk meningkatkan *gain* karena mikrostrip antena pada penelitian ini tidak mempunyai *gain* yang terlalu besar sehingga ditambahkan struktur *metamaterial* sebagai reflektor untuk meningkatkan *gain*. Penelitian ini tidak hanya membesarkan *gain* saja tetapi *return loss*, *VSWR*, *bandwidth* juga semakin mempunyai spesifikasi antena yang lebih baik lagi.

2. Dasar Teori

2.1 Antena

Antena adalah sebuah perangkat untuk menerima dan pemancar gelombang radio dalam kata lain antena merupakan transisi struktur antara ruang bebas dan sebagai perangkat pemandu. Bidang dari antena kuat dan dinamis, dan 60 tahun terakhir teknologi antena sangat diperlukan di revolusi komunikasi. Banyak kemajuan besar terjadi selama periode umum yang digunakan saat ini. Antena juga termasuk antara gelombang terpandu dengan gelombang ruang hampa dan sebaliknya. Gelombang terpandu adalah gelombang yang mempunyai sedikit rugi-rugi dalam saluran transmisi, sedangkan gelombang ruang hampa adalah gelombang yang dipancarkan ke ruang bebas sehingga membentuk lapisan-lapisan. Antena mempunyai sifat resonansi, yaitu antena dapat beroperasi pada daerah tertentu. Untuk menentukan apakah sebuah antena baik atau tidak, dapat dilihat dari seluruh parameter antena tersebut. Parameter antena yang biasa digunakan untuk menganalisis sebuah antena adalah impedansi antena, pola radiasi, *gain*, *bandwidth*, *return loss*, dan *VSWR* [6].

2.1.1 Mikrostrip antena

Dalam sistem komunikasi, antena penuh dengan komponen yang dapat dipelajari, sementara berusaha untuk mengoptimalkan kinerja radio listrik oleh karena itu perlu perancangan antena yang disesuaikan dengan kebutuhan antena yang baik. Selama 70 tahun, ada perkembangan dari mikrostrip antena atau patch antena, didukung oleh teknologi microelectronic di bidang elektronik [7]. Mikrostrip antena juga merupakan antena cetak jenis khusus yang mempunyai tiga bagian yaitu patch, substrate, dan ground. Patch atau bagian atas dari mikrostrip antena adalah logam dengan ketebalan tertentu yang dicetak diatas media dielektrik (substrate) yang berfungsi sebagai pemancar. Substrate adalah bagian mikrostrip antena yang berfungsi untuk menyalurkan gelombang elektromagnetik dari patch pada antena tersebut. Karakteristik dari substrate sangat memengaruhi parameter antena. Ground plane atau bagian bawah mikrostrip antena berfungsi sebagai pemantul energi elektromagnetik ke udara bebas [8]. Mikrostrip antena juga merupakan solusi yang atraktif dalam dunia sistem komunikasi yang modern ini, banyak sekali kelebihan dari mikrostrip antena seperti antena yang compact, fabrikasi yang murah, ringan, dan dimensi yang kecil. Walaupun begitu banyak kelebihan dari mikrostrip antena terdapat juga kekurangannya seperti *bandwidth* sempit, *gain* yang kecil, dan efisiensi radiasi yang diberikan juga rendah [10].

2.1.2 Desain Mikrostrip antena

Untuk membuat sebuah desain mikrostrip antena, dibutuhkan parameter dimensi antena. Parameter dimensi mikrostrip antena terdiri dari beberapa bagian, yaitu dimensi *patch*, *substrate*, *ground plane*, dan *feed line*. Penentuan dimensi mikrostrip antena berdasarkan spesifikasi mikrostrip antena yang digunakan, antara lain nilai frekuensi, tebal *substrate*, permitivitas *substrate*, dan nilai kecepatan cahaya. Parameter dimensi antena didapatkan dari perhitungan rumus dasar mikrostrip antena. Rumus yang digunakan dalam perhitungan parameter dimensi mikrostrip antena [9].

1. Panjang *patch* (L_p)

Untuk menghitung L_p , sebelumnya harus mencari nilai L_{eff} , ϵ_{reff} , dan $2\Delta l$ menggunakan persamaan [9]

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta l$$

L_{eff} adalah [9] :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Δl adalah [9] :

$$\Delta l = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W_p}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W_p}{h} + 0,8\right)}$$

ϵ_{reff} adalah [9]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \left[\frac{\epsilon_{r+1}}{2} \times \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W_p}}} \right) \right]$$

Dari rumus diatas, diketahui bahwa L_p adalah panjang *patch* (mm), L_{eff} adalah panjang efektif (m), Δl adalah selisih panjang, ϵ_{reff} adalah konstanta bahan dielektrik, h adalah tebal *substrate* (mm), dan ϵ_r adalah konstanta bahan dielektrik.

2. Lebar *patch* (W_p) [9],

$$W_p = \frac{c}{2f_o\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

Dari rumus tersebut, diketahui bahwa W_p adalah lebar *patch* (mm), c adalah kecepatan cahaya (m/s), f_o adalah frekuensi kerja (Hz), dan ϵ_r adalah konstanta bahan dielektrik.

3. Panjang *ground plane* (L_g) [9],

$$L_g = 6h + L_p$$

Dari rumus tersebut, diketahui bahwa h adalah tinggi antenna dan L_p adalah panjang *patch*.

4. Lebar *ground plane* (W_g) [9],

$$W_g = 6h + W_p$$

Dari rumus tersebut, diketahui bahwa h adalah tinggi antenna dan W_p adalah lebar *patch*.

5. Panjang *Feed* (L_f) [9],

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

dengan λ_0 adalah panjang gelombang di udara bebas (m), W_f adalah lebar *feed* (mm), dan L_f adalah panjang *feed* (mm).

6. Lebar *feed* (W_f)

Untuk menghitung W_f , harus mencari nilai besar impedansi (B) terlebih dahulu dengan persamaan [9],

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

diketahui Z_0 adalah nilai impedansi antenna (Ω). Sehingga didapatkan persamaan lebar *feed* W_f adalah [9]:

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \times \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \times \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

2.2 Teknologi 5G

5G lebih dari sebuah langkah revolusi ke jenjang baru dalam teknologi, 5G merepresentasikan perubahan standar dari teknologi mobile yang berada di dunia masyarakat. Permintaan untuk kelanjutan konektivitas yang

berkembang. 5G merupakan kesempatan untuk membuat sesuatu yang cepat dan dapat memberi kebutuhan yang berbeda – beda bagi masyarakat yang menggunakannya. Meluncurkan 5G merupakan kesempatan oleh operator untuk bergerak menembus koneksi dan berkolaborasi ke sektor yang berbeda seperti keuangan, transportasi, retail dan kesehatan untuk memberikan pelayanan yang lebih kaya ke customers dan sektor bisnis. Ini salah satu kesempatan untuk masyarakat dan individual untuk lebih terdepan dalam ambisi digital. 5G merupakan global dan multi-stakeholder perkembangan teknologi dengan berbagai tujuan desain. Berbagai stakeholders di beberapa negara dan kota telah bekerja sangat keras sejak 2012 untuk lebih mendefinisikan dan membentuk 5G nantinya akan jadi apa. Bagaimana pun, IMT-2020 menampilkan tabel di bawah ini dengan International Telecommunications Union Radio communication Sector (ITU-R) adalah tujuan kebutuhan desain dari 5G [3].

2.3 Spektrum Frekuensi

5G sistem *mobile* memperluas spektrum frekuensi yang tinggi (diatas 6 GHz) dan mendukung pengiriman data sampai ke *multi gigabit* per detik. Frekuensi tinggi band dikenali sebagai kandidat yang baik untuk 5G, fitur dominan yaitu adanya spektrum yang melimpah untuk membantu transmisi data yang bekerja dengan kecepatan tinggi. Frekuensi jarak ini band nya mencapai 3 – 300 GHz, biasanya dikatakan sebagai *mm-wave bands* [11]. Spektrum *mm-wave* salah satu representasi yang akan diperkenalkan untuk pembuatan sistem 5G diatas 6 GHz, untuk membuat sistem 5G tersebut ada beberapa tantangan untuk mencapai tujuan tersebut yaitu perambatan yang hilang akan meningkat di panjang gelombang pendek yang menyebabkan komunikasi jarak pendek. Difraksi *loss* sangat memungkinkan, tetapi dalam beberapa kasus dikompensasi refleksi spekuler yang kemungkinan bisa terjadi. Untuk memenuhi visi dan kebutuhan dari 5G dan membawa potensi kapabilitasnya menambahkan spektrum alokasi 5G yang dibutuhkan. [12]

Kandidat frekuensi untuk frekuensi band dalam seluler *broadband* di masa depan komunikasi sistem berdasarkan tren studi global dan beberapa status akhir ini jatah frekuensi di seluruh dunia adalah 700 MHz, 3.5 GHz, 26 GHz dan 28 GHz frekuensi band dipilih karena yang terbaik untuk Indonesia [13].

2.4 Metamaterial

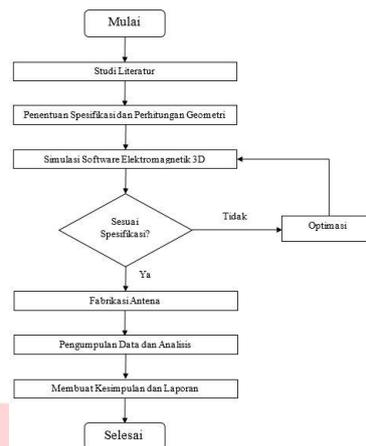
Metamaterial adalah material yang dibuat dengan struktur buatan untuk menghasilkan properti elektromagnetik yang susah didapatkan di alam. Karena *metamaterial* dapat merekayasa permitivitas, permeabilitas, dan indeks refraksi, *metamaterial* menjadi hal yang menarik untuk mengaplikasikan elektromagnetik dari microwave sampai optical regime, terutama alat radiated – wave. *Metamaterial* – based small antennas mempunyai kelebihan ukuran fisik antena yang kecil, bandwidth lebih luas, harga yang murah dan efisiensi bagus yang fiturnya diinginkan oleh antena terintegrasi, dan juga terkenal akan quality factor (Q) [14]. Material natural umumnya mempunyai positif permitivitas elektrik, permeabilitas magnetik, dan indeks refraksi. Di samping itu semua parameter tadi adalah negatif di *metamaterial*, dan mereka biasanya disebut Negative Index Materials (NIM) atau Double Negative Media (DNG), Left Handed Materials (LHM) atau backward wave media [15]. Terdapat dua tipe *metamaterial* yaitu planar (1 dimensi atau 2 dimensi) dan volumetrik (3 dimensi). *Metamaterial* bidang planar mempunyai karakteristik dengan ditandai oleh teori saluran transmisi. *Metamaterial* bidang planar ini bisa dimisalkan sebuah saluran transmisi. Terdiri dari impedansi seri Z dan admitansi paralel Y, mewakili elemen saluran dengan panjang d, yang harus lebih pendek dibandingkan panjang gelombang untuk membuat satu unit sel. *Metamaterial* volumetrik (3D) mempunyai karakteristik dengan ditandai oleh teori medan [16].

2.5 Square SRR (Split Ring Resonator)

Square SRR menarik banyak perhatian karena struktur metamaterial dapat menimbulkan respons magnetik yang efektif tanpa memerlukan bahan magnetik. *SRR* berhasil untuk mengaplikasikan pembuatan LHM (beberapa orang menyebutkan *Double Negative Material* atau *Negative Refractive Index Materials*). *SRR* merupakan sepasang cincin annular. *SRR* merupakan cincin yang terbuat dari *non – magnetic metal* seperti tembaga dan mempunyai gap kecil diantaranya Di *SRR* kapasitansi antara dua cincin seimbang dengan induktansi. Time – varying magnetic field (H) diaplikasikan tegak lurus pada permukaan cincin menginduksi arus yang bergantung pada sifat resonansi struktur menghasilkan medan magnet yang dapat meningkatkan medan datang. Oleh karena itu Gambar 2.3 menghasilkan permitivitas yang negatif. [17]

3. Simulasi Antena

Pada perancangan Mikrostrip antena menggunakan *metamaterial* sebagai reflektor yang digunakan untuk meningkatkan *gain* dalam komunikasi 5G ini tentu terdapat beberapa proses seperti pada Gambar 3.1 agar spesifikasi dan dimensi sesuai. Tujuan dari diagram alir pada Gambar 3.1 adalah agar pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat bekerja secara terstruktur.



Gambar 3.1 Diagram Perancangan Antena

3.1 Spesifikasi Antena

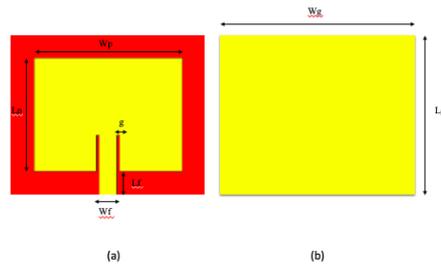
Pada tahap ini dilakukan penentuan spesifikasi mikrostrip antena menggunakan *metamaterial* sebagai reflektor yang diinginkan sesuai dengan kegunaannya, dengan spesifikasi yang sudah ditentukan akan mempermudah dalam tahap optimasi. Spesifikasi antena meliputi beberapa parameter yang ada di antena seperti *VSWR*, Frekuensi Kerja, Pola Radiasi, *Gain*, *Return loss*, dan *Bandwidth*.

Tabel 3.1 Spesifikasi antena

Parameter Antena	Spesifikasi Antena
Jenis Antena	<i>Microstrip</i>
Frekuensi Kerja	3,5 GHz
Pola Radiasi	<i>Omnidirectional</i>
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
<i>Bandwidth</i>	≥ 100 MHz
<i>Gain</i>	≥ 5 dBi
Bahan Antena	Konduktor: Tembaga (h = 0,035 mm)
	<i>Substrate</i> : FR - 4 ($\epsilon_r = 4,3$ dan h = 1,57 mm)
Bahan <i>metamaterial</i>	Konduktor: Tembaga (h = 0,035 mm)
	<i>Substrate</i> : FR - 4 ($\epsilon_r = 4,3$ dan h = 1,62 mm)

3.2 Simulasi Menggunakan Software

Untuk merealisasikan antena yang akan dirancang maka diperlukan simulasi terlebih dahulu, simulasi pada Tugas Akhir ini menggunakan *Software* Simulasi. Simulasi ini bertujuan agar dapat mengetahui dimensi suatu antena yang paling optimal, jika sudah melakukan simulasi namun hasilnya belum memenuhi spesifikasi maka dilakukan proses optimasi agar hasil running sesuai dengan apa yang sudah ditentukan.

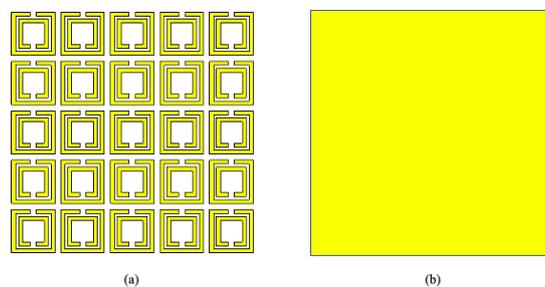


Gambar 3.1 Antena sebelum dilakukan optimasi

Tabel 3.2 Dimensi antena sebelum dilakukan optimasi dan sebelum ditambahkan *metamaterial* sebagai reflektor

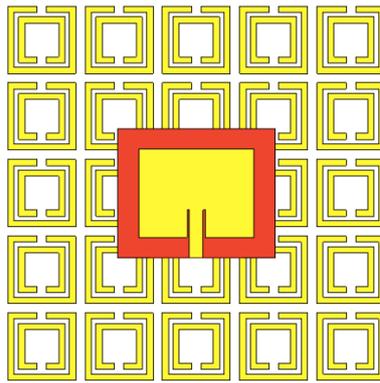
Dimensi Antena	Nilai (mm)
Panjang <i>patch</i> (L_p)	20,26
Lebar <i>patch</i> (W_p)	26,32
Panjang <i>ground plane</i> (L_g)	29,68
Lebar <i>ground plane</i> (W_g)	35,74
Panjang <i>feed</i> (L_f)	10,85
Lebar <i>feed</i> (W_f)	3,05
Lebar <i>gap</i> (g)	0,5

Hasil dari proses simulasi yang dilakukan mikrostrip antena sebelum dilakukan optimasi untuk *gain* hasil yang didapatkan adalah nilai *VSWR* 1,4 dan nilai *return loss* didapatkan -14,21 dB pada frekuensi 3,458 GHz, didapatkan juga nilai *gain* sebesar 3.32 dBi dengan pola radiasi *omnidirectional*. Maka dari itu dilakukan optimasi yaitu menambahkan struktur *metamaterial* sebagai reflektor untuk antena tersebut. Struktur *metamaterial* yang ditambahkan ini mempunyai dimensi $86,25 \times 86,25 \text{ mm}^2$.



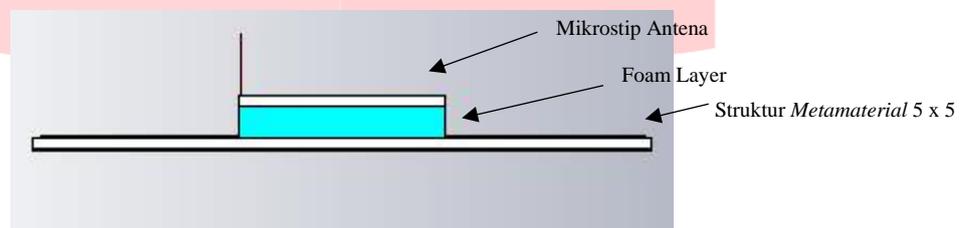
Gambar 3.2 (a) Tampak struktur *metamaterial* 5 x 5 dari atas dan (b) Tampak struktur *metamaterial* dari belakang

Untuk melakukan optimasi *gain* mikrostrip antena tersebut stuktur *metamaterial* 5 x 5 bertindak sebagai reflektor seperti gambar 3.3



Gambar 3.3 Struktur *metamaterial* 5 x 5 yang ditambahkan sebagai reflektor

Diantara mikrostrip antenna dan struktur *metamaterial* 5 x5 diletakkan foam layer dengan ketinggian 12 mm sebagai penyangga yang mempunyai *relative permittivity* 1,01 dan *loss tangent* 1×10^{-4} yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4



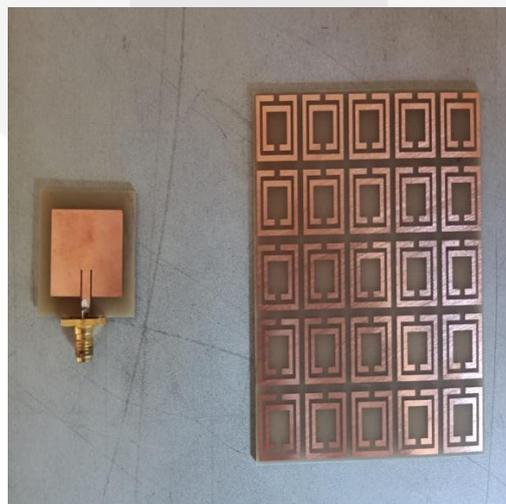
Gambar 3.4 Struktur *metamaterial* 5 x 5 yang ditambahkan sebagai reflektor

Hasil dari proses simulasi dan optmasi yang dilakukan mendapatkan nilai dari beberapa parameter yang sudah ditentukan. Parameter tersebut antara lain *return loss* -22,52, *VSWR* adalah 1,16 dan *gain* dengan pola *omnidirectional* adalah 5,39 dBi yang berkerja di frekuensi 3.5 GHz. Dengan demikian antenna dapat dirancang dan melakukan tahap fabrikasi.

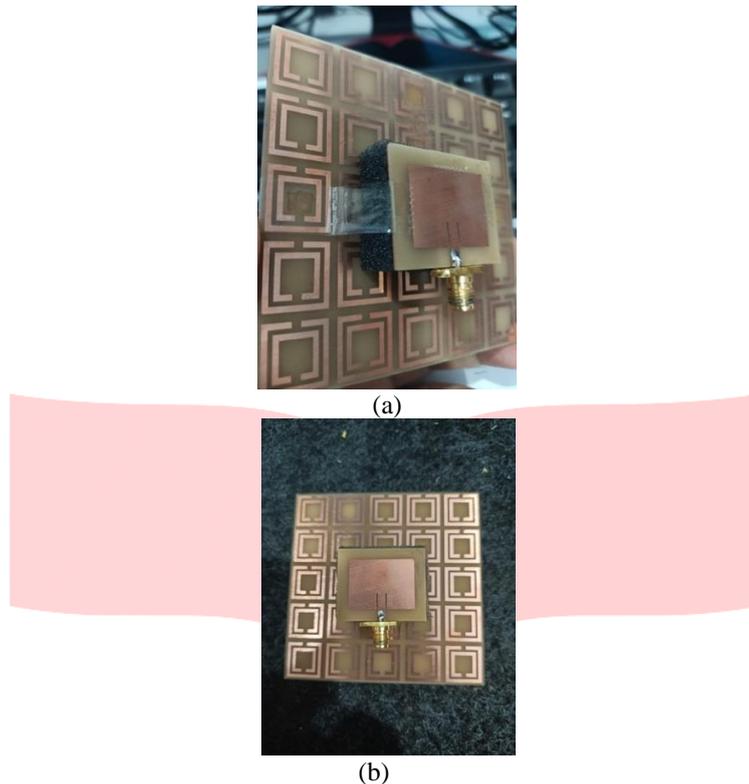
4 Pengukuran dan Analisis

Untuk mengetahui perbandingan hasil nilai dari simulasi dan realisasi antenna maka perlu diadakannya pengujian dengan pengukuran parameter antenna pada Tugas Akhir ini. Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengukuran adalah kemampuan dari alat ukur itu sendiri seperti rating maksimum dan frekuensi yang mampu diukur oleh alat ukur tersebut.

Fabrikasi dilakukan menggunakan penyedia jasa percetakan antenna yang lebih professional yang bertujuan agar tingkat ketelitian yang semakin tinggi.



Gambar 4.1 Realisasi mikrostrip antenna dan *metamaterial* sebagai reflektor.



Gambar 4. 1 Realisasi antenna digabungkan dengan *metamaterial* sebagai reflektor (a) tampak dari samping (b) tampak dari atas.

4.1 Hasil VSWR

Jika dilihat pada Tabel 4.1 hasil *VSWR* mengalami perbedaan hasil dari simulasi dengan pengukuran. Hal tersebut terjadi karena simulasi merupakan hasil dengan kondisi yang paling ideal tetapi pada saat proses realisasi dilakukan tidak mampu mendapatkan kondisi lingkungan yang ideal seperti pada simulasi yang menggunakan *Software*. Namun hasil tersebut masih dapat ditoleransi dikarenakan hasil $VSWR \leq 2$.

Tabel 4.1 Perbandingan hasil *VSWR*

Frekuensi (GHz)	Nilai	
	Simulasi	Pengukuran
3.5	1,16	1,208

4.2 Hasil *Return Loss*

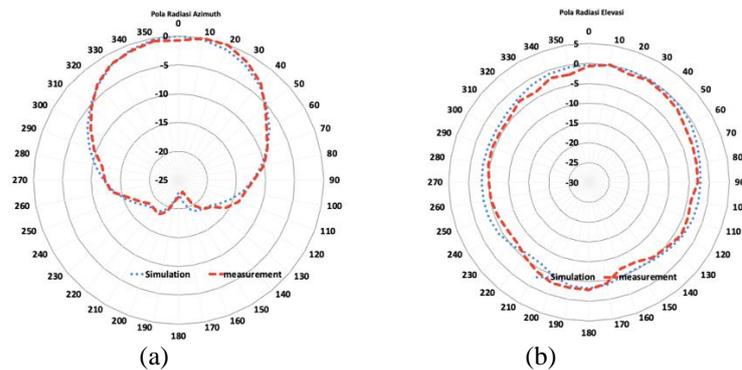
Jika dilihat pada Tabel 4.2 hasil *return loss* mengalami perbedaan hasil dari simulasi dengan pengukuran. Hal tersebut terjadi karena simulasi merupakan hasil dengan kondisi yang paling ideal tetapi pada saat proses realisasi dilakukan tidak mampu mendapatkan kondisi lingkungan yang ideal seperti pada simulasi yang menggunakan *Software*. Namun hasil tersebut masih dapat ditoleransi dikarenakan hasil $return\ loss \leq -10$ dB.

Tabel 4.2 Perbandingan *return loss*

Frekuensi (GHz)	Nilai	
	Simulasi	Pengukuran
3.5	-22,52 dB	-20,732 dB

4.3 Hasil Pola radiasi dan *Gain*

Tujuan diukurnya pola radiasi adalah untuk mengukur level keluaran daya ataupun tingkat penerimaan sinyal pada sebuah antenna yang akan diukur. Saat pengukuran dapat terjadi perbedaan polaradiasi hasil pengukuran dengan simulasi, hal tersebut terjadi karena rotasi dari *Antenna Under Test* dilakukan secara manual maupun dari alat pengukuran itu sendiri. Hal tersebut dapat menyebabkan nilai yang didapatkan oleh spectrum analyzer sering berubah, itu dapat mengakibatkan nilai yang tercatat tidak sesuai dengan nilai sebenarnya. Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa pola radiasi antenna yang dirancang adalah omnidirectional.



Gambar 4.3 Hasil pola radiasi (a) Azimuth (b) Elevasi

Tabel 4.4 Perbandingan hasil *gain*

Frekuensi (GHz)	<i>Gain</i> (dBi)	
	Simulasi	Pengukuran
3,5	5,39	5,1

Dapat dilihat dari Tabel 4.4 bahwa hasil yang didapat dari pengukuran sedikit berbeda dengan hasil simulasi. Sehingga antenna yang di rancang sudah memenuhi dari spesifikasi yaitu $Gain \geq 5$ dBi.

5. Kesimpulan dan Saran

Hasil proses penelitian pada tugas akhir ini mulai dari perancangan, melakukan simulasi dengan software, dan melakukan pengukuran dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Mikrostrip antenna menggunakan *metamaterial* sebagai reflektor untuk komunikasi 5G menggunakan software CST Studio Microwave 2019 dan menggunakan bahan substrate FR -4 untuk mikrostrip antenna juga *metamaterial*. Mikrostrip antenna mempunyai dimensi $35 \times 29 \text{ mm}^2$ dan *metamaterial* mempunyai dimensi $86,25 \times 86,25 \text{ mm}^2$.
2. Saat di simulasi *gain* mikrostrip antenna meningkat menjadi 5,39 dBi dengan menggunakan struktur *metamaterial* sebagai reflektor, sebelum menggunakan struktur *metamaterial* *gain* mikrostrip antenna adalah 3,34 dBi.
3. Hasil perancangan antenna melalui simulasi sudah mencapai spesifikasi yang dibutuhkan dengan nilai frekuensi bekerja pada 3,5 GHz, *gain* 5,39 dBi, *return loss* sebesar -22,52 dB, *VSWR* 1,16, dan *bandwidth* 186,7 MHz.
4. Penggunaan *metamaterial* sebagai reflektor dapat meningkatkan *gain*, *return loss*, *bandwidth* dan mengurangi nilai *VSWR*.
5. Struktur *metamaterial* mempunyai jenis *metamaterial* ENG (Epsilon Negative).
6. Proses pengukuran menggunakan antenna horn dan juga pada anechoic chamber membuat pengukuran antenna lebih akurat dan pengukuran juga dilakukan di daerah medan jauh dan juga di ruangan bebas pantulan atau refleksi.

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran agar dapat dijadikan bahan evaluasi dan hasil penelitian selanjutnya yang lebih baik yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah atau menggunakan struktur *metamaterial* lainnya untuk meningkatkan *gain* pada antenna yang lebih besar lagi.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan dengan menambah atau menggunakan metode lainnya dan mengganti dengan jenis lain yang mempunyai spesifikasi lebih baik untuk meningkatkan nilai *bandwidth* dan mengurangi perbedaan hasil pada simulasi dan realisasi.

Referensi

- [1] A. Baratè, G. Haus, L. A. Ludovico, and E. Pagani, "5G TECHNOLOGY FOR MUSIC EDUCATION : A FEASIBILITY STUDY," vol. 14, no. 1, pp. 31–52.
- [2] J. Holopainen, J. M. Hannula, and V. Viikari, "A study of 5G antennas in a mobile terminal," *2017 11th Eur. Conf. Antennas Propagation, EUCAP 2017*, no. 1, pp. 3079–3081, 2017, doi: 10.23919/EuCAP.2017.7928630.
- [3] GSMA, "The 5G Guide," pp. 1–15, 2019.
- [4] N. Ardelina, "Perancangan Antena Dual Band Berbasis Metamaterial pada Frekuensi 2.3/3.3 GHz," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [5] D. A. Sehrai, F. Muhammad, S. H. Kiani, Z. H. Abbas, M. Tufail, and S. Kim, "Gain-enhanced metamaterial based antenna for 5G communication standards," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 64, no. 3, pp. 1587–1599, 2020, doi: 10.32604/cmc.2020.011057.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design Fourth Edition*, vol. 7, no. 2. 2016.
- [7] S. M. Janosik, *Microstrip Antennas modeling for recent Applications*, vol. 42, no. 4. 2005.
- [8] and A. I. R. Grag, P. Bhartia, I. Bahl, *Microstrip Antenna Design Handbook*. .
- [9] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION*, Third. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [10] F. Mouhouche, A. Azrar, M. Dehmas, and K. Djafer, "Gain enhancement of monopole antenna using AMC surface," *Adv. Electromagn.*, vol. 7, no. 3, pp. 69–74, 2018, doi: 10.7716/aem.v7i3.747.
- [11] Y. Wang, J. Li, L. Huang, Y. Jing, A. Georgakopoulos, and P. Demestichas, "5G mobile: Spectrum broadening to higher-frequency bands to support high data rates," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 9, no. 3, pp. 39–46, 2014, doi: 10.1109/MVT.2014.2333694.
- [12] J. Lee *et al.*, "Spectrum for 5G: Global Status, Challenges, and Enabling Technologies," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 3, pp. 12–18, 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700818.
- [13] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, and M. Suryanegara, "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, pp. 23–28, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706874.
- [14] Y. Dong and T. Itoh, "Metamaterial-based antennas," *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2271–2285, 2012, doi: 10.1109/JPROC.2012.2187631.
- [15] E. K. I. Hamad and A. Abdelaziz, "Metamaterial superstrate microstrip patch antenna for 5G wireless communication based on the theory of characteristic modes," *J. Electr. Eng.*, vol. 70, no. 3, pp. 187–197, 2019, doi: 10.2478/jee-2019-0027.
- [16] G. NUANSA, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Dengan Metamaterial CSRR Pada Frekuensi 2,6 – 2,7 GHz," 2011.
- [17] M. K. T. Al-Nuaimi and W. G. Whittow, "Compact microstrip band stop filter using SRR and CSSR: Design, simulation and results," *EuCAP 2010 - 4th Eur. Conf. Antennas Propag.*, no. May 2014, pp. 1–6, 2010.