

PERANCANGAN DAN ANALISIS ANTENA METAMATERIAL PATCH SINGKULAR UNTUK TEKNOLOGI 5G DENGAN CSRR PADA FREKUENSI 3,5 GHZ

DESIGN AND ANALYSIS METAMATERIAL CIRCULAR PATCH ANTENNA FOR 5G TECHNOLOGY WITH CSRR AT 3.5 GHZ FREQUENCY

Fadil Achmad Yuda¹, Bambang Setia Nugroho², Levy Olivia Nur³

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

fadilachmadyuda@student.telkomuniversity.ac.id¹,

bambangsetianugroho@telkomuniversity.co.id², levyolivia@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Teknologi *fifth generation* (5G) merupakan teknologi terbaru pada bidang telekomunikasi nirkabel yang akan direalisasikan pada tahun 2021. Teknologi yang memiliki kecepatan transfer data dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yang mana berfungsi untuk memenuhi kebutuhan layanan yang semakin baik. Untuk memenuhi kebutuhan layanan tersebut, teknologi 5G membutuhkan spektrum yang lebar. Salah satu komponen yang berpengaruh dalam pengimplementasian teknologi 5G adalah antenna. Penelitian ini adalah untuk mendesain antenna mikrostrip metamaterial untuk teknologi 5G.

Penelitian ini mendesain dan mensimulasikan antenna mikrostrip patch sirkular dengan konsep metamaterial pada frekuensi 3,5 GHz. Konsep metamaterial yang digunakan adalah CSRR (*Complimentary Split Ring Resonator*) yang mana pada bagian *groundplane* ditambahkan unit sel CSRR. Setelah mendapatkan hasil simulasi, maka akan dilakukan perbandingan antara antenna yang dipasang metamaterial dengan yang sebelum dipasang metamaterial. Parameter yang dibandingkan adalah dimensi, *gain*, dan *bandwidth*.

Penelitian ini menggunakan teknologi *software* 3D untuk perancangan dan simulasi antenna. Penambahan unit sel metamaterial CSRR bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* serta mengurangi dimensi antenna. Penambahan unit sel dilakukan satu persatu lalu dilakukan simulasi sehingga mendapatkan hasil yang beragam. Pada Penelitian ini antenna dimensi terkecil terdapat pada metamaterial 4x4 dengan ukuran 30 x 32,73 mm yang memiliki frekuensi kerja 3,499 – 3,642 GHz, *bandwidth* 142 MHz, dan *gain* 4,19 dBi. Hasil pengurangan dimensi dari 41,09 x 33,095 mm menjadi 30 x 32,73 mm membuktikan bahwa penambahan metamaterial dapat mengurangi dimensi antenna.

Kata kunci : teknologi 5G, *metamaterial*, antenna, CSRR, *patch* sirkular

Abstract

Fifth generation (5G) technology is the latest technology in the field of wireless telecommunications which will be realized in 2021. Technology that has a data transfer speed compared to the previous technology which serves to meet the need for better services. To meet these service needs, 5G technology requires a wide spectrum. One of the components that influence the implementation of 5G technology is the antenna. This final project is to design a metamaterial microstrip antenna for 5G technology.

This final project designs and simulates a circular patch microstrip antenna with the metamaterial concept at a frequency of 3.5 GHz. The metamaterial concept used is CSRR (*Complimentary Split Ring Resonator*) in which the CSRR unit cell is added to the groundplane. After getting the simulation results, a comparison will be made between the antenna that was installed with the metamaterial and the one before the metamaterial was installed. The parameters compared are dimensions, *gain*, and *bandwidth*.

This final project uses 3D software technology for antenna design and simulation. The addition of the CSRR metamaterial unit cell aims to increase the bandwidth and reduce the dimensions of the antenna. The addition of unit cells is done one by one and then a simulation is carried out to get various results. In this final project, the smallest dimension antenna is found in a 4x4 metamaterial with a size of 30 x 32.73 mm which has a working frequency of

3.499 – 3.642 GHz, a bandwidth of 142 MHz, and a gain of 4.19 dBi. The result of reducing the dimensions from 41.09 x 33.095 mm to 30 x 32.73 mm proves that the addition of metamaterial can reduce the dimensions of the antenna.

Keywords : 5G technology, metamaterial, antenna, CSRR, circular patch

1. Pendahuluan

Pada perkembangan teknologi zaman ini yang semakin pesat, bidang telekomunikasi merupakan salah satu yang mengalami perkembangan sangat pesat, terlihat dari permintaan akses internet tanpa kabel (nirkabel) yang cepat. Teknologi nirkabel dengan akses internet cepat adalah *fifth generation* (5G). Teknologi ini mulai bisa digunakan di Indonesia pada tahun 2023. 5G memiliki kemampuan mengirim data (*uplink*) hingga 10 Gbps dan menerima data (*downlink*) hingga 20 Gbps serta reliabilitas yang tinggi hingga 1ms [1]. Oleh karena itu, 5G membantu dalam perkembangan teknologi saat ini dan kedepannya dengan pelayanan yang stabil (*live streaming*, *Internet of Things*, *Ultra High Definition video*, dan lain lain).

Teknologi 5G memiliki 3 spectrum utama yang dapat bedasarkan cakupan pelayanan tersebut, mulai dari ≤ 1 GHz (sangat luas), 1 – 6 GHz (luas), dan >6 GHz (kecil). Spektrum yang baik digunakan dalam teknologi 5G adalah 1–6 GHz terutama pada frekuensi 3400–3800 MHz karena mendukung banyak perangkat 5G dan memiliki *bandwidth* yang luas [2]. Salah satu perangkat yang dibutuhkan dalam pengimplementasian 5G adalah antenna, antenna merupakan alat telekomunikasi yang dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik dengan medium udara. Salah satu antenna yang baik digunakan untuk teknologi 5G adalah antenna mikrostrip.

Antena mikrostrip merupakan antenna *compact* yang banyak membantu dalam sistem komunikasi seluler. Antena mikrostrip juga mudah untuk dibawa kemana-mana dikarenakan berukuran kecil dan pipih. Namun, dimensi dari antenna mikrostrip ini masih jauh dari harapan, oleh karena itu antenna membutuhkan dimensi yang lebih kecil. Untuk mendapatkan antenna mikrostrip yang berdimensi kecil dapat digunakan struktur *metamaterial*. *Metamaterial* adalah struktur buatan yang dapat didesign sehingga mempunyai sifat yang tidak dimiliki di alam, karena *metamaterial* karena metamaterial memiliki sifat permitivitas yang negatif, permeabilitas yang negatif atau keduanya *double negative* (DNG) yang mana memberikan permitivitas dan permeabilitas yang negatif [3]. Salah satu design *metamaterial* yang sesuai dengan teknologi 5G adalah *Complementary Split Ring Resonator* (CSRR).

Penelitian ini melanjutkan penelitian yang sebelumnya yaitu pada frekuensi 2,45 GHz, 3,54 GHz, dan 5,62 GHz dengan menggunakan satu *Rectangular Split Resonator* dan dua *Circular Split Resonator* [4]. Penelitian ini juga melanjutkan penilitan pada frekuensi 3 GHz menggunakan satu *Rectangular Split Resonator* [5].

Pada penelitian [4], CSRR digunakan dalam pengaplikasian antenna pada WLAN/WiMAX dengan 3 rentang frekuensi. Pada penilitan [6], tebal substrat memiliki peran penting dalam perbesaran *bandwidth* dan pengurangan return loss. Pada penelitian [5], antenna yang telah diaplikasikan dengan CSRR mengalami pengurangan gain, yang mana mengurangi performa dari antenna tersebut. Penelitian ini mencoba merancang antenna single band dengan menggunakan *Circular Split Resonator* untuk mengoptimasi antenna pada frekuensi 3,5 GHz untuk 5G sehingga mendapatkan dimensi dan gain yang kecil.

2. Konsep dasar

2.1 Teknologi 5G

Teknologi 5G merupakan teknologi terbaru dari jaringan *mobile* yang mana mengalami banyak peningkatan. Teknologi 5G dibutuhkan untuk menunjang permintaan jaringan *mobile* yang cepat serta juga mendukung layanan *Internet of Things* (IoT) seperti komunikasi *Machine to Machine* (M2M) dan *wearable devices* [8]. Teknologi 5G memiliki spectrum frekuensi yang beragam berdasarkan frekuensinya, frekuensi <1 GHz digunakan dalam televisi dan radio, frekuensi 1–6 GHz digunakan dalam Wi-Fi dan jaringan *mobile*, dan frekuensi >6 GHz digunakan dalam satelit dan beberapa *fixed devices* seperti radio *point-to-point* dan perangkat M2M lainnya. Dengan spektrum Teknologi 5G tersebut, masing masing harus memiliki *data rates downlink* hingga 20 Gbit/s dan *uplink* hingga 10 Mbit/s, latensi hingga 1ms, *bandwidth* ≥ 100 MHz [1], konektivitas yang stabil dan reabilitas dan konektivitas yang tinggi. Selain itu antenna juga harus mencakup daerah yang cukup luas, serta penggunaan daya dan biaya yang efisien.

Menurut Kepdirjen SDPPI Nomor 235 tahun 2018, Indonesia mendapatkan uji coba dalam penggunaan teknologi 5G *International Mobile Telecommunication 2020* (IMT-2020) dengan rentang frekuensi 3,5 GHz (3,3 – 4,2 GHz), 15 GHz (14,5 – 15,35 GHz), 26 GHz (24,25 – 27,5 GHz), dan 28 GHz (26,5 – 29,5 GHz) [9]. Frekuensi 3,5 GHz sangat baik digunakan sebagai uji coba Teknologi 5G di Indonesia, karena pada frekuensi tersebut gelombang elektromagnetik akan lebih sedikit mengalami redaman dibanding gelombang frekuensi militer [9]. Selain redaman, pada frekuensi 3,5 GHz juga memiliki keuntungan seperti cakupan, area yang menengah dan kapasitas yang lebih banyak [10].

2.2 Antena

Antena menurut IEEE *Standard Definitions of Terms of Antenna* merupakan sebuah alat yang dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik [11]. Antena juga merupakan alat konversi medium gelombang, dari medium tembaga menjadi ruang bebas dan sebaliknya. Dengan kata lain, antena berperan sebagai transformator dari sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik. Baik tidaknya sebuah antena dapat ditentukan oleh parameter parameter yang telah diukur atau disimulasikan. Parameter parameter yang biasa digunakan untuk menganalisis baik tidaknya antena adalah *voltage standing wave ratio* (VSWR), *return loss*, *bandwidth*, *gain*, impedansi antena, dan pola radiasi.

2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena berbentuk pipih yang dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang tinggi. Antena mikrostrip juga memiliki ukuran yang kecil sehingga dapat dipasang ke perangkat perangkat yang sangat rapat seperti telepon genggam, modem *broadband*, dan laptop. Namun karena ukurannya yang kecil dan pipih, antena mikrostrip memiliki kelemahan *gain* yang kecil, *bandwidth* yang sempit, kapasitas tenaga yang rendah [12].

2.4 Metamaterial

Metamaterial merupakan sebuah material buatan yang didesain agar memiliki sifat elektromagnetik yang tidak dimiliki di alam. Semua material di alam memiliki nilai permitivitas dan permeabilitas yang positif, yang mana berdampak redaman pada antena. Metamaterial diciptakan dengan rekayasa teknologi dan disusun secara simetris atau periodik supaya memiliki sifat permitivitas dan permeabilitas yang negatif [14]. Oleh karena itu, metamaterial sangat cocok untuk diimplementasikan pada antena. Pada perancangan antena, metamaterial merupakan teknik miniaturisasi dimensi antena serta penambahan gain dan pelebaran *bandwidth* [15]

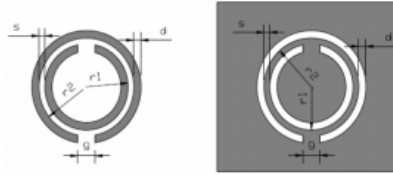
Metamaterial memiliki sifat-sifat tertentu mulai dari nilai permeabilitas dan permitivitas negatif yang biasa disebut dengan *double negative* (DNG) metamaterial, hingga yang hanya memiliki permeabilitas negatif atau permitivitas negatif yang biasa disebut *Single Negative* (SNG). Metamaterial memiliki bentuk dan design unit sel yang berbeda, seperti *Split Ring Resonator* (SRR) dan *Double Ring Resonator* (DRR) yang bentuknya dapat dilihat pada Gambar 1. Kedua design ini memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Perancangan metamaterial yang akan dibuat adalah *Complimentary Split Ring Resonator* (CSRR).



Gambar 1. Bentuk design dari metamaterial DRR (kiri) dan SRR (kanan) pada bagian *groundplane*

2.5 Complementary Split Ring Resonator (CSRR)

CSRR merupakan bentuk komplementer dari desain SRR. Seperti metamaterial yang lain, desain CSRR diletakkan dibagian *groundplane* namun berbeda dengan SRR dari segi pemasangan konduktor yang terbalik. Perbedaan peletakan konduktor antara CSRR dan SRR dapat dilihat dari Gambar 2.

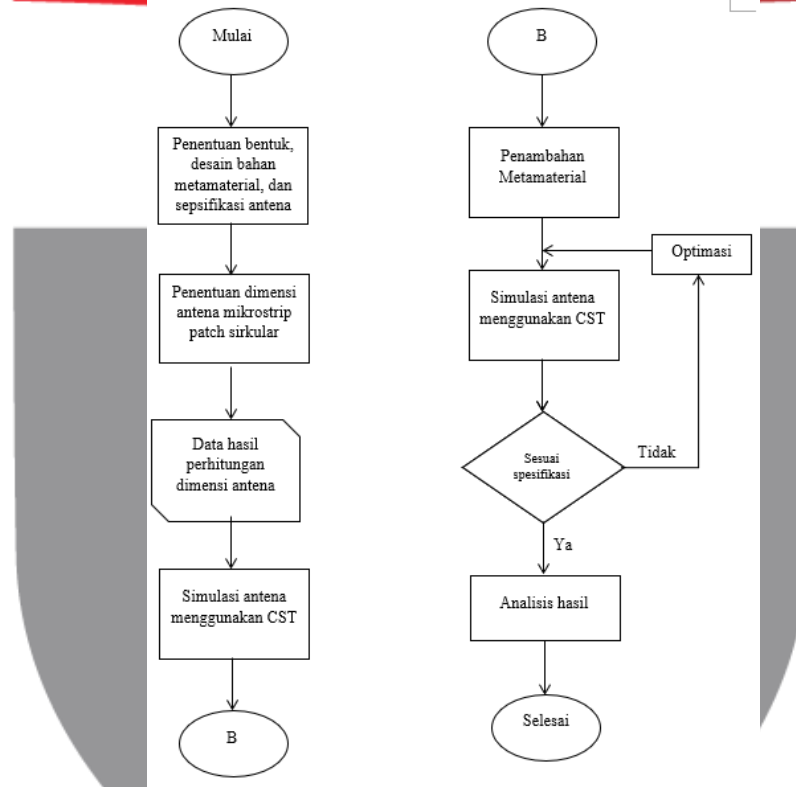


Gambar 2. Bentuk unit sel SRR (kiri) dan CSRR (kanan) pada *groundplane*

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1 Flowchart pengerjaan

Flowchart digunakan untuk menampilkan proses yang terjadi selama pengerjaan penelitian ini dari awal sampai selesai. Adapun flowchart dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart pengerjaan penelitian

3.2 Spesifikasi antenna

Spesifikasi antenna mikrostrip yang akan dirancang pada penelitian ini dapat dilihat di Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi antenna mikrostrip

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi kerja	3,5 GHz
<i>Bandwidth</i>	≥ 100 MHz
Impedansi	50Ω
VSWR	≤ 2
<i>Return loss</i>	≤ -12 dB
<i>Gain</i>	3 dB

3.3 Pemilihan Substrat

Pemilihan substrat sangat mempengaruhi besar dimensi pada antenna serta biaya yang dibutuhkan dalam perancangan antenna. Pada penelitian ini, substrat mikrostrip yang digunakan adalah FR4 Epoxy. FR4 dipilih karena mudah dalam memproduksi, harga yang murah serta memiliki ukuran yang kecil. FR4 memiliki permitivitas (ϵ_r) = 4,3 dan ketebalan lapisan substrat (h) = 1,2 mm.

3.4 Perhitungan Dimensi Antena

Dengan spesifikasi yang telah didapatkan dari sebelumnya, maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung dimensi antenna dimulai dari panjang dan lebar *patch*, substrat, dan *groundplane*.

a. Menghitung jari-jari patch

Sebelum menghitung jari-jari patch antenna (a), maka perlu diketahui nilai F melalui persamaan (2.8) dimana didapat

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{3,5 \times 10^9 \times \sqrt{4,3}}$$

$$F = 1,2112$$

Dengan didatarkannya nilai F , maka nilai (a) dapat diperoleh dengan persamaan (2.7) dimana didapat

$$a = \frac{1,2112}{\sqrt{\left\{1 + \frac{0,24 \text{ cm}}{3,14 \times 4,3 \times 1,2112} \left[\ln \left(\frac{3,14 \times 1,2112}{0,24 \text{ cm}} \right) + 1,7726 \right] \right\}}} = \frac{1,2112}{1,02}$$

$$a = 11,72 \text{ mm}$$

Dengan didapatkan nilai jari-jari antenna (a), maka nilai jari-jari antenna efektif (a_e) dapat diperoleh dengan persamaan (2.9) dimana didapat

$$a_e = 1,172 \text{ cm} \left\{ \sqrt{1 + \frac{0,24 \text{ cm}}{3,14 \times 4,3 \times 1,172 \text{ cm} \left[\ln \left(\frac{3,14 \times 1,172 \text{ cm}}{0,24 \text{ cm}} \right) + 1,7726 \right]}} \right\}$$

$$a_e = 1,172 \text{ cm} \{1,03\}$$

$$a_e = 11,78 \text{ mm}$$

b. Menghitung panjang dan lebar feed

Sebelum menghitung lebar feed, maka perlu diketahui nilai B melalui persamaan (2.11) dimana didapat

$$B = \frac{60 \times 3,14^2}{50\sqrt{4,3}}$$

$$B = 5,7114$$

Dengan didatarkannya nilai B , maka lebar feed dapat diperoleh dengan persamaan (2.10) dimana didapat

$$W_f = \frac{0,24 \text{ cm}}{3,14} \left[5,7114 - 1 - \ln(11,423 - 1) + \frac{4,3 - 1}{8,6} \left\{ \ln(5,7114 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,3} \right\} \right]$$

$$W_f = \frac{0,24 \text{ cm}}{3,14} [3,0573]$$

$$W_f = 2,335 \text{ mm}$$

Sebelum menghitung panjang feed, maka perlu diketahui nilai permitivitas efektif (ϵ_{eff}) melalui persamaan (2.13) dimana didapat

$$\epsilon_{eff} = \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12 \times 0,12 \text{ cm}}{0,233}}} \right)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} (0,373)$$

$$\epsilon_{eff} = 3,2668$$

Dengan didatarkannya nilai ϵ_{eff} , maka panjang feed dapat diperoleh dengan persamaan (2.12) dimana didapat

$$L_f = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3,5 \times 10^9 \sqrt{3,2668}}$$

$$L_f = 10,33 \text{ mm}$$

c. Menghitung panjang dan lebar *groundplane*

Untuk mendapatkan lebar dan panjang dari *groundplane*, maka digunakan persamaan (2.14) untuk mencari panjang dan (2.15) untuk mencari lebar dari *groundplane* tersebut, dimana didapat

$$W_g = 6(1,2 \text{ mm}) + 2,355 \text{ mm} + 2(11,78 \text{ mm})$$

$$W_g = 33,095 \text{ mm}$$

$$L_g = 6(1,2 \text{ mm}) + 10,33 \text{ mm} + 2(11,78 \text{ mm})$$

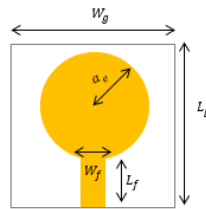
$$L_g = 41,09 \text{ mm}$$

Dari perhitungan dimensi diatas, maka didapatkan parameter untuk membentuk antenna mikrostrip yang belum dioptimasi, yang dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Parameter dimensi antenna yang setelah melakukan perhitungan

Parameter	Nilai
Jari-Jari patch (a_e)	11,78 mm
Lebar feed (W_f)	2,335 mm
Panjang feed (L_f)	10,33 mm
Tinggi substrat	1,2 mm
Lebar <i>groundplane</i> (W_g)	33,095 mm
Panjang <i>groundplane</i> (L_g)	41,09 mm

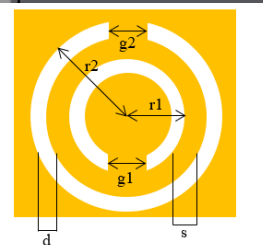
Setelah didapat parameter antenna mikrostrip yang dirancang, maka antenna mikrostrip dapat dirancang sesuai dengan Gambar 4



Gambar 4. Bentuk antenna dan parameter mikrostrip patch sirkular

3.5 Perancangan Metamaterial

Bentuk desain metamaterial yang dibuat pada penelitian ini adalah Bentuk *Complimentary Split Ring Resonator* (CSRR). Untuk parameter perancangan metamaterial didapatkan berdasarkan referensi dari penelitian sebelumnya [17] dan [3]. Dikarenakan parameter penelitian sebelumnya memiliki dimensi yang berbeda maka parameter unit sel dari CSRR mengalami penyesuaian.



Gambar 5. Struktur dan parameter unit sel dari CSRR

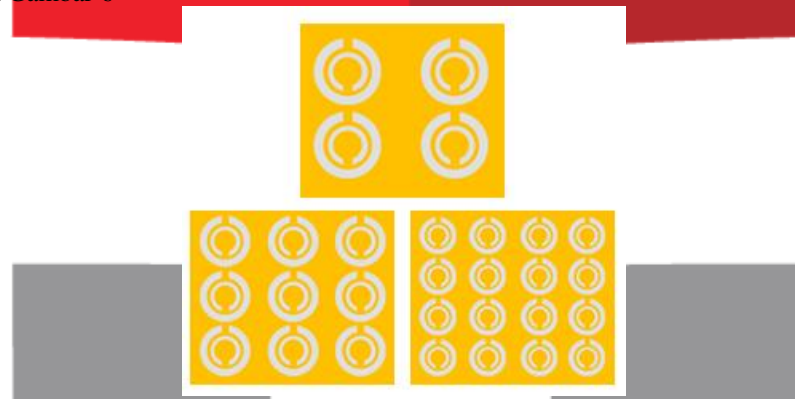
Gambar 5 merupakan desain dan parameter dari metamaterial CSRR yang akan dirancang. Warna jingga merupakan logam tembaga pada *groundplane* dan warna putih merupakan ruang hampa pada *groundplane*. Ukuran dari setiap parameter tersebut akan dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Nilai parameter unit sel metamaterial CSRR

Parameter	Nilai
Jari-jari luar (r2)	5 mm
Jari-jari dalam (r1)	4,05 mm
Lebar celah tembaga (s)	0,325 mm
Lebar celah ruang hampa (d)	0,625 mm
Lebar split luar (g2)	1,5 mm
Lebar split dalam (g1)	1,1 mm

3.6 Desain Antena Metamaterial

Pemasangan unit sel metamaterial terletak pada *groundplane* antena mikrostrip patch sirkular konvensional. sel metamaterial diletakkan secara satu per satu mulai dari 2x2 hingga 4x4 pada *groundplane* dengan menjaga kesimetrisan *groundplane*. Bentuk pemasangan metamaterial dapat dilihat pada Gambar 6

**Gambar 6** Skema penambahan unit sel metamaterial pada *groundplane*

3.7 Pemasangan Metamaterial dan Optimasi Antena

Setelah didapat unit sel yang sesuai dengan spesifikasi, antena akan dipasangkan unit sel metamaterial lalu dioptimasi agar lebih akurat. Optimasi yang akan dilakukan menyeluruh dari parameter *patch*, *feedline*, substrat, dan *groundplane*. Setelah dioptimasi dan memiliki spesifikasi yang akurat, maka dilakukan perbandingan dimensi antara antena mikrostrip sebelum ditambahkan metamaterial dengan antena yang telah ditambahkan metamaterial. Optimasi dilakukan dengan disertai oleh penambahan metamaterial. Hasil yang didapat dari optimasi pertama hingga ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel perbandingan parameter dan nilai simulasi

Parameter	Sebelum Optimasi	Optimasi Pertama	Optimasi Kedua	Optimasi Ketiga
Panjang	41.09 mm	35 mm	33 mm	30 mm
Lebar	33,095 mm	32,5 mm	33 mm	32,73 mm
Tinggi	1,2 mm	1,1 mm	1,2 mm	0,75 mm
Luas	1359,87 mm ²	1137,5 mm ²	1089 mm ²	962,190 mm ²
Volume	1631,85 mm ³	1251,25 mm ³	1306,8 mm ³	721,642 mm ³
Persentase luas	100%	83,65%	80,082%	70,76%
Persentase volume	100%	76,68%	80,081%	44,42%
Bandwidth	0 MHz	319,4 MHz	140 MHz	124 MHz
Gain	5,92 dBi	4,11 dBi	4,67dBi	4,19 dBi
Return loss	-5,639 dB	-24,6 dB	-26,422 dB	-23,83 dB
VSWR	3,18	1,125	1,1	1,137

3.8 Perbandingan Unit Sel Metamaterial

a. Perputaran unit sel metamaterial

Perbandingan ini menjelaskan pengaruh perputaran unit sel metamaterial. Perputaran unit sel metamaterial dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perputaran unit sel dalam *return loss*. Pada posisi 180 derajat memiliki sedikit pergeseran frekuensi kerja, namun menyebabkan *return loss* yang lebih tinggi dibandingkan posisi yang lain. Pada posisi 90 dan 270 derajat *return loss* tidak mengalami pengurangan yang besar, namun menyebabkan pergeseran frekuensi kerja. Perbandingan nilai *return loss* dan *bandwidth* dari perputaran unit sel metamaterial dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan nilai diantara sudut unit sel metamaterial

Nilai	0°	90°	180°	270°
Return loss	-26,422 dB	-26,31 dB	-19,99 dB	-25,43 dB
Bandwidth	140 MHz	190MHz	140 MHz	170 MHz
Gain	4,95 dBi	4,81 dBi	4,87 dBi	5,08 dBi

b. Perancangan *Complimentary Double Ring Resonator* (CDRR)

Pada analisis ini antenna dibuat seperti antenna unit sel CDRR dengan parameter yang sama dengan antenna optimasi kedua. Agar mendapatkan bentuk CDRR maka perlu dibuang parameter lebar split luar (g2) dan dalam (g1). Dengan menghilangkan split pada CSRR menyebabkan pergeseran frekuensi kerja dan memperbesar *return loss*. Pada CDRR *bandwidth* mengalami perbesaran, namun *return loss* mengalami peningkatan. Perbandingan nilai *return loss* dan *bandwidth* diantara CSRR dengan CDRR unit sel metamaterial dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan nilai antara CSRR dengan CDRR unit sel metamaterial

Nilai	CSRR	CDRR
Return loss	-26,422 dB	-18,95 dB
Bandwidth	140 MHz	260 MHz

c. Perancangan SRR

Pada analisis ini antenna dibuat seperti antenna unit sel SRR dengan parameter yang sama dengan antenna optimasi kedua. Untuk mendapatkan bentuk antenna SRR maka perlu dibalik letak ruang hampa dengan tembaga pada *groundplane*. Pada bentuk SRR ini, *Bandwidth* yang didapat lebih besar dibandingkan dengan CSRR, namun SRR mengalami peningkatan *return loss* yang besar. Perbandingan nilai *return loss* dan *bandwidth* diantara CSRR dan SRR unit sel metamaterial dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan nilai antara CSRR dengan SRR unit sel metamaterial

Nilai	CSRR	SRR
Return loss	-26,422 dB	-15,26 dB
Bandwidth	140 MHz	750 MHz

3.9 Optimasi untuk Fabrikasi

Setelah mendapatkan antenna yang sesuai dengan spesifikasi, antenna kemudian difabrikasi sesuai dengan optimasi kedua. Beberapa alasan mengapa dipilih antenna optimasi kedua dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Antena optimasi ketiga tidak dapat difabrikasi karena parameter unit sel pada lebar celah tembaga (s) dan lebar celah ruang hampa (d) yang sangat kecil, sehingga tidak dapat dipasang lebar split (g1).
2. *Return loss* dan *gain* yang paling baik adalah pada antenna optimasi kedua.

Meskipun dengan memilih antenna optimasi kedua untuk fabrikasi, antenna optimasi kedua juga harus di optimasi kembali untuk mendapatkan optimasi kembali sehingga dapat difabrikasi. Pada optimasi ini dilakukan perbesaran lebar celah tembaga (s) unit sel metamaterial dari 0,2 mm menjadi 0,3 mm dan jari-jari luar (r2) 4,4 mm menjadi 4,55 mm. Perbesaran ini menyebabkan *bandwidth* antenna metamaterial menjadi kurang dari 100 MHz. Untuk memperbesar *bandwidth* dilakukan perbesaran tinggi substrat dari 1,2 mm menjadi 1,375. Dimensi antenna yang dipasang metamaterial 3x3 yang dioptimasi untuk fabrikasi dapat dilihat pada Tabel 8

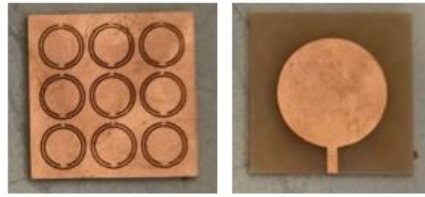
Tabel 3.14 Perbandingan parameter antenna metamaterial 3x3 optimasi kedua dengan dan sesudah dioptimasi untuk fabrikasi

Parameter	Optimasi Kedua	Optimasi Fabrikasi
Jari-Jari patch (a_e)	11 mm	11 mm
Lebar feed (W_f)	2 mm	2 mm
Panjang feed (L_f)	8 mm	8 mm
Tinggi substrat	1,2 mm	1,375 mm
Lebar <i>groundplane</i> (W_g)	33 mm	33 mm
Panjang <i>groundplane</i> (L_g)	33 mm	33 mm

4. Pengukuran dan Analisis

4.1 Fabrikasi Antena

Setelah mendapatkan antenna yang sesuai dengan spesifikasi yang mana menggunakan simulasi aplikasi *software* elektromagnetik berbasis 3D. Antena kemudian difabrikasi sesuai optimasi fabrikasi. Antena metamaterial untuk teknologi 5G ini dapat dilihat pada Gambar 7.

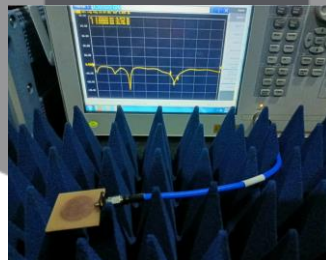


Gambar 7. Bentuk antenna metamaterial setelah difabrikasi bagian depan (kanan) dan bagian belakang (kiri)

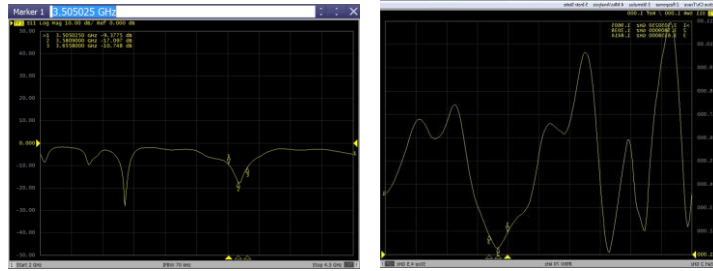
4.2 Hasil Pengukuran Antena

a. Hasil Pengukuran *Return loss*, *bandwidth*, dan VSWR

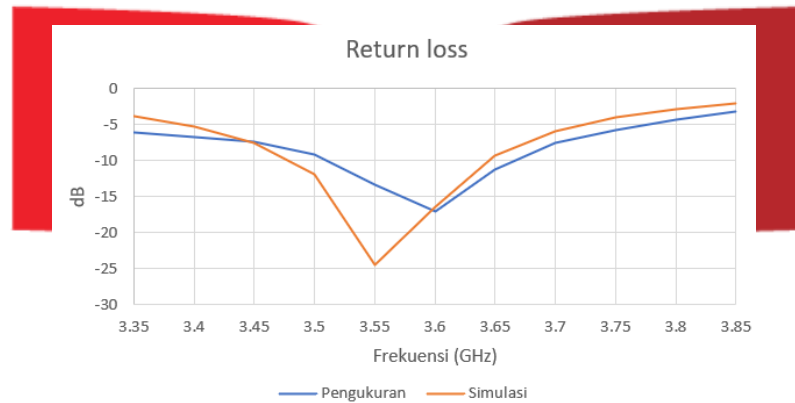
Untuk mengukur hasil *return loss*, *bandwidth*, dan VSWR pada antenna yang difabrikasi, dibutuhkan *Visual Network Analyzer* (VNA) yang dapat mengukur pada frekuensi yang telah disimulasikan pada aplikasi simulasi. VNA harus dikalibrasi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Selain dikalibrasi, untuk mendapatkan data yang akurat antenna diletakkan pada dinding kedap suara yang mana mencegah sinyal pantul dan sinyal interferensi. Proses pengukuran *return loss* dapat dilihat pada Gambar 8. Setelah itu VNA akan mengukur spesifikasi antenna fabrikasi yang terpasang. Hasil dari *return loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 9 dan perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran pada Gambar 10 – 11.



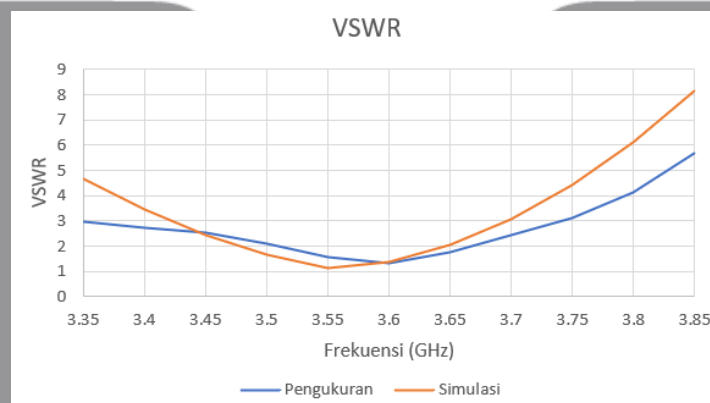
Gambar 8. Pengukuran antenna fabrikasi dengan VNA



Gambar 9. Hasil pengukuran *return loss* (kiri) dan VSWR (kanan) dari antenna fabrikasi



Gambar 10. Perbandingan *return loss* simulasi dan pengukuran



Gambar 11. Perbandingan VSWR simulasi dan pengukuran

Nilai yang telah didapat pada pengukuran telah menyerupai hasil simulasi meskipun terdapat pergeseran terhadap frekuensi yang tidak signifikan.

b. Hasil Pengukuran pola radiasi, Polarisasi dan *Gain*

Untuk mengukur pola radiasi, polarisasi, dan *gain* pada antenna yang difabrikasi, dibutuhkan antenna referensi, *signal generator*, dan *spectrum analyzer*. Sebelum menentukan jarak pengukuran, perlu ditentukan syarat medan jauh (R) pada antenna. Syarat medan jauh merupakan jarak minimal pengukuran antenna agar antenna dapat terpancar sempurna. Untuk menentukan syarat medan jauh pada antenna dapat menggunakan perhitungan

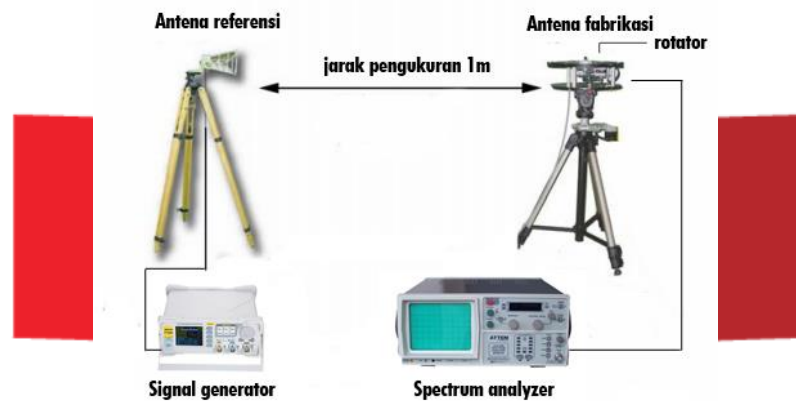
$$R \geq \frac{2 \times D^2}{\lambda}$$

$$D = \sqrt{L_g^2 + W_g^2} = \sqrt{2178 \text{ mm}^2} = 46,67 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{C}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{3,5 \times 10^9} = 0,08571 \text{ m}$$

$$R \geq \frac{2 \times 0,04667^2}{0,08571} \geq 0,05 \text{ m}$$

Setelah ditentukan syarat medan jauh, maka diketahui jarak minimal yang dibutuhkan adalah 0,05 meter. Pada pengukuran, antenna referensi dipasangkan dengan *signal generator* dan antenna fabrikasi dengan *spectrum analyzer* kemudian antenna fabrikasi diputar 360 derajat sebanyak 36 kali. Jarak pengukuran antenna fabrikasi dan antenna referensi adalah 1 meter. Untuk mengukur antenna diputar, diukur daya yang diterima pada antenna lalu dicatat dari sudut 0 derajat hingga 350 derajat. Proses pengukuran antenna dapat dilihat pada Gambar 12



Gambar 12. Ilustrasi pengukuran pola radiasi, polarisasi, dan *gain*

Untuk melakukan pengukuran *gain* dibutuhkan nilai jarak pengukuran dan frekuensi untuk mendapatkan nilai *free space loss*. Pada pengukuran ini *free space loss (FSL)* yang didapat adalah -43,331 dB. Pengukuran ini juga memiliki daya transmit (P_{tx}) adalah 1 watt atau 0 dB dan *loss* kabel (L_f) adalah -2 dB. Pada pengukuran ini didapatkan daya penerima (P_{rx}) adalah -35,5525 dBm dan *gain* antenna referensi (G_{tx}) adalah 10 dB. Untuk mendapatkan nilai *gain* antenna *link budget* (G_{rx}) maka digunakan perhitungan

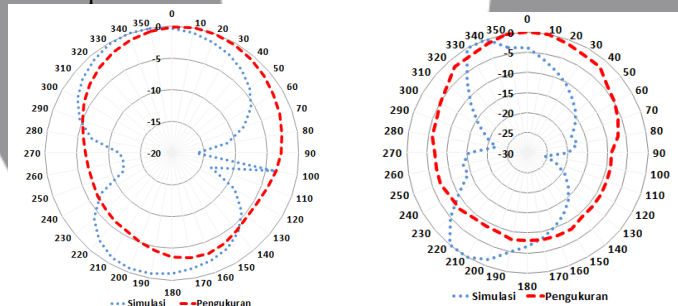
$$P_{rx} = P_{tx} - L_{f_{tx}} + G_{tx} - FSL + G_{rx} - L_{f_{rx}}$$

$$-35,5525 \text{ dBm} = 0 - 2 \text{ dB} + 10 \text{ dB} - 43,331 \text{ dB} + G_{rx} - 2 \text{ dB}$$

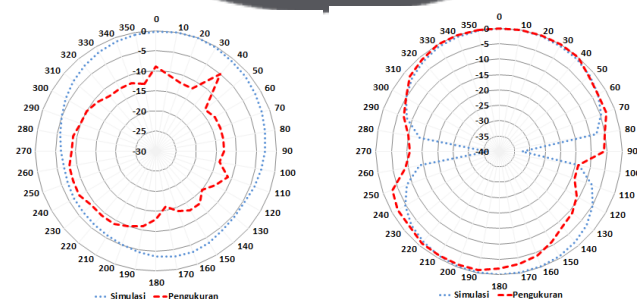
$$-35,5525 \text{ dBm} - (-37,331 \text{ dB}) = G_{rx}$$

$$G_{rx} = 1,7785$$

Nilai *gain* antenna *link budget* yang didapat adalah 1,7785 dBi. Bentuk pola radiasi dan polarisasi dapat dilihat pada Gambar 13 – 14.



Gambar 13 Bentuk polarisasi azimuth (kanan) dan elevasi (kiri)



Gambar 14 Bentuk pola radiasi azimuth (kanan) dan elevasi (kiri)

Pada Gambar 13 bentuk polarisasi didapat bentuk yang berbeda, sedangkan pada Gambar 14 bentuk pola radiasi pada pengukuran telah menyerupai bentuk simulasi. Perbedaan disebabkan oleh kondisi saat simulasi dan pengukuran. Pada saat simulasi, semua kondisi yang dapat mempengaruhi adalah ideal, sedangkan pada saat pengukuran terdapat faktor faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian mulai dari perancangan, simulasi dan pengukuran, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip dengan metamaterial untuk teknologi 5G menggunakan substrat FR-4 dapat dibuat dengan dimensi paling kecil $30,32 \times 30 \text{ mm}^2$.
2. Perancangan antena menggunakan metamaterial pada frekuensi 3,5 GHz mendapatkan *return loss* -23,83 dB, *bandwidth* 124 MHz, dan *VSWR* 1,137.
3. Pemambahan metamaterial dapat menyebabkan pengurangan dimensi pada antena, perluasan *bandwidth*, pengurangan *return loss* dan *VSWR*.
4. Hasil yang didapat pada simulasi telah mendekati hasil yang dilakukan pada pengukuran.
5. Hasil perbandingan perputaran sudut unit sel metamaterial didapat bahwa posisi sudut paling baik adalah sudut 270° dengan *return loss* -25,43 dBi, *bandwidth* 170 MHz, dan *gain* 5,08 dBi.

REFERENSI:

- [1] Yinan Qi, M. Hunukumbure, M. Nekovee, J. Lorca and V. Sgardoni, "Quantifying data rate and bandwidth requirements for immersive 5G experience," *2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016.
- [2] W. S. H. M. W. Ahmad et al., "5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 14460-14488, 2020.
- [3] Waqas, Muhammad & Khan, Muhammad, "A Rectangular Split Ring Double Negative Metamaterial having Simultaneous Negative Permittivity and Permeability". *ISPACS, Advanced Computational Techniques in Electromagnetics*, 2014.
- [4] Ali, Wael & Hamad, Ehab & Bassiuny, Mohamed & Hamdalla, Mohamed, "Complementary Split Ring Resonator Based Triple Band Microstrip Antenna for WLAN/WiMAX Applications" *Radioengineering*, 2017.
- [5] Kumar, Varindra, "Application of CSRR Metamaterial in Antenna", 2019.
- [6] Jemima Nissiyah George, M. Ganesh Madhan, "Analysis of single band and dual band graphene based patch antenna for terahertz region," *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Volume 94, 2017.
- [7] Alhadhrami, Suheer & Al-Salman, A. & Al-Khalifa, Hend & Alarifi, A. & Alnafessah, Ahmad & Alsaleh, M. & Al-Ammar, M.A., "Ultra wideband positioning: An analytical study of emerging technologies," *SENSORCOMM 2014 - 8th International Conference on Sensor Technologies and Applications*. 66-74.
- [8] Global System for Mobile Communications Association (GSMA), 5G, the Internet of Things (IoT) and Wearable Devices, 2017.
- [9] Tim Peneliti Puslitbang SDPPI, Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk Layanan 5G Indonesia. Jakarta: Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika Badan Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2018.
- [10] Global System for Mobile Communications Association (GSMA), 5G Guide: GSMA Public Policy Position, New York: GSMA, 2019.
- [11] "IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas," in *IEEE Std 145-2013 (Revision of IEEE Std 145-1993)*, vol., no., pp.1-50, 6 March 2014.
- [12] D. M. Pozar, "Microstrip antennas," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79-91, Jan. 1992.
- [13] Balanis, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. Wiley. New Jersey. 2016.
- [14] Krzysztofik, Wojciech & Cao, Thanh, "Metamaterials in Application to Improve Antenna Parameters," 2019.

- [15] Silva, Isaac & Andrade, Humberto & Silva, Jose & Fernandes, Humberto & Neto, Marinaldo & Pereira, Jonathan, "Effects of Complementary Split Ring Resonator (CSRR) parameters in microstrip patch antenna characteristics, " 2015.
- [16] Falcone, Francisco & Lopetegi, Txema & Laso, Miguel & Baena, Juan & Bonache, Jordi & Beruete, Miguel & Marques, R. & Martín, F & Sorolla Ayza, Mario, "Babinet Principle Applied to the Design of Metasurfaces and Metamaterials," Physical review letters, 2004.
- [17] S. Goswami, K. Sarmah, A. Sarma, K. K. Sarma and S. Baruah, "Slot loaded square patch antenna with CSRR at ground plane," 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), Durgapur, India, 2016.

Lampiran

DATA PENGUKURAN POLA RADIASI DAN POLARISASI

1. Tabel pengukuran pola radiasi

Pola radiasi (dBm)	
Azimuth	Elevasi
-35	-33
-35	-34
-35	-34
-35	-36
-35	-36
-37	-38
-38	-39
-38	-39
-40	-40
-41	-42
-49	-43
-49	-47
-46	-45
-44	-41
-43	-41
-41	-41
-39	-41
-38	-40
-37	-38
-36	-38
-36	-38
-36	-37
-36	-38
-37	-38
-37	-39
-38	-41
-44	-43
-46	-45
-45	-44
-42	-41
-40	-39
-37	-36
-36	-36
-35	-35
-35	-35
-35	-34

2. Tabel pengukuran polarisasi

Polarisasi (dBm)	
Azimuth	Elevasi
-35	-47
-35	-48
-36	-48
-37	-48
-37	-49
-39	-49
-40	-49
-41	-48
-42	-48
-44	-47
-44	-46
-44	-46
-44	-48
-44	-50
-44	-52
-43	-55
-43	-55
-43	-51
-43	-48
-43	-46
-44	-45
-44	-44
-44	-44
-44	-44
-43	-44
-43	-43
-42	-43
-42	-43
-42	-44
-41	-44
-41	-45
-40	-45
-39	-46
-37	-47
-37	-47
-36	-47
-35	-47