

Peningkatan *Gain* Antena Mikrostrip untuk Aplikasi 5G Dengan *Metasurface*

1st Kania Ilma Fathaniah

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

kaniailma@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Levy Olivia Nur

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Edwar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

edwar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Perkembangan teknologi sekarang ini sangat pesat, salah satunya adalah teknologi 5G sebagai generasi kelima dalam sistem komunikasi seluler setelah 4G. Teknologi 5G mempunyai data yang akan dikirimkan melalui gelombang radio. Untuk memenuhi kebutuhan teknologi telekomunikasi yang berkembang saat ini, diperlukan perangkat antena. Antena dengan ukuran kecil yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan teknologi 5G salah satunya adalah antena mikrostrip. Salah satu metode untuk menunjang parameter antena agar menjadi lebih baik yaitu dengan penambahan *metasurface*. *Metasurface* dengan pemilihan bentuk unit cell dan dimensi yang tepat dapat membantu peningkatan *gain* pada antena sesuai kebutuhan dari antena yang digunakan. Bentuk unit cell *metasurface* yang sering digunakan adalah Square Split Ring Resonator. Bentuk unit cell lain yaitu Double Circle Resonator yang berperan sebagai penyerap gelombang. Proyek tugas akhir ini membandingkan unit cell Square Split Ring Resonator dan Double Circle Resonator yang ditambahkan pada antena mikrostrip untuk melihat performansi yang lebih baik untuk peningkatan *gain*. *Gain* terbaik didapatkan pada double sided *metasurface* menggunakan unit cell Double Circle Resonator dengan jumlah unit cell 4x4.

Kata kunci— antena 5G, mikrostrip, *metasurface*.

I. PENDAHULUAN

Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki kelebihan dimensi yang tipis dan ringan. Antena mikrostrip cenderung memiliki *gain* yang kecil dikarenakan dimensinya yang kecil. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat tambahan yang dapat menjadi penunjang sebuah antena mikrostrip agar dapat memenuhi spesifikasi teknologi antena yang mampu bekerja pada frekuensi 3,5 GHz untuk teknologi 5G, sehingga mampu didapatkan spesifikasi *gain* yang diinginkan dengan tetap dapat mempertahankan ukurannya yang *compact*. Pada perancangan ini, antena mikrostrip ditambahkan *metasurface* untuk meningkatkan *gain*. *Metasurface* ekuivalen dengan metamaterial dua dimensi. Metamaterial itu sendiri merupakan suatu struktur bahan tambahan yang mampu mencapai sifat elektromagnetik yang tidak dapat ditemukan di alam, agar suatu rancangan dapat mencapai parameter yang diinginkan secara efektif [1]. Pengaplikasian *metasurface* memiliki banyak fungsi, penggunaan *metasurface* yang cukup populer yaitu digunakan sebagai penyerap gelombang dan juga pemantul gelombang.

II. KAJIAN TEORI

Metasurface merupakan versi dua dimensi dari metamaterial. Fitur utama dari metamaterial adalah karakteristiknya yang memiliki nilai permitivitas(ϵ) serta/atau permeabilitas(μ) negatif. Pada antena, metamaterial dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang paling sering digunakan sebagai absorber, selain itu, metamaterial pada antena juga banyak digunakan untuk meningkatkan bandwidth, efisiensi radiator, sebagai reflektor gelombang [5], serta meningkatkan parameter antena lainnya seperti *gain* dengan tetap mempertahankan dimensi antena utama yang kecil.

Dalam berbagai aplikasi, penggunaan *metasurface* lebih menguntungkan untuk dipilih, sebab ukurannya yang lebih kecil dari metamaterial dan menawarkan struktur yang memungkinkan untuk transmisi *less-lossy* [6].

Dengan pemilihan tipe dan modelling *metasurface* yang tepat, akan dapat meningkatkan efisiensi dimensi antena dan meningkatkan spesifikasi antena dengan mengoptimalkan parameter utama yang dimiliki oleh antena.

A. Skenario Penggunaan

Antena mikrostrip yang dibuat ini memiliki frekuensi kerja 3,5 GHz. Antena disusun dengan lapisan *metasurface* yang dipasang dengan jarak tertentu. Pemasangan *metasurface* pada susunan antena ini bertujuan untuk membantu menunjang karakteristik dan parameter antena yang didapatkan.

B. Spesifikasi

Frekuensi yang dilakukan pada pengamatan ini yaitu diamati dengan rentang 2-4 GHz, dengan target frekuensi kerja 3,5 GHz. Bahan substrat yang digunakan baik untuk antena maupun *metasurface* adalah FR-4 epoxy dan menggunakan bahan tembaga.

TABEL 2.1
Spesifikasi Antena

No	Parameter	Rincian
1.	Frekuensi Kerja	3,5 GHz
2.	Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
3.	<i>Gain</i>	Min. 4 <i>dBi</i>
4.	<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
5.	<i>Bandwidth</i>	> 100 MHz
6.	VSWR	$1 \geq \text{VSWR} < 2$

7.	Konstanta dielektrik substrat	4,3
8.	Ketebalan Substrat	1,6 mm
9.	Ketebalan tembaga	0,035 mm

III. METODE

Antena mikrostrip dibuat menggunakan metode pencatutan *feed line*. Penambahan *metasurface* dilakukan dengan penambahan substrat yang disusun di depan *patch* antena, dan unit cell dari *metasurface* dipasang *double sided* pada substratnya.

A. Perhitungan Antena

Pada pengimplementasian antena mikrostrip, diperlukan penentuan dimensi dan bentuk awal antena untuk perancangan. Penentuan dimensi dilakukan dengan perhitungan untuk menentukan dimensi antena mikrostrip pada frekuensi 3,5 GHz.

1. Perhitungan lebar *patch*.

$$W_p = \frac{c}{2fr\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (3.1)$$

$$W_p = 26,326 \text{ mm}$$

Dimana,

W_p = Lebar *patch*

fr = Frekuensi Kerja

C = Kecepatan Cahaya

ϵ_r = Konstanta Dielektrik

2. Perhitungan panjang *patch* (L_p)

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (3.2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.3)$$

Dimana,

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1+12\frac{h}{w}}} \right]$$

$$\epsilon_{eff} = 3,904$$

$$L_{eff} = 21,69$$

$$\Delta L = 0,412 h \frac{(\epsilon_{eff}+0,3)\left(\frac{w}{h}+0,264\right)}{(\epsilon_{eff}-0,258)\left(\frac{w}{h}+0,8\right)}$$

$$\Delta L = 0,736$$

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

$$L_p = 20,218 \text{ mm}$$

3. Perhitungan panjang *ground plane*

$$L_g = 6h + L_p \quad (3.4)$$

$$L_g = 6(1,6) + 20,218 = 29,818 \text{ mm}$$

4. Perhitungan lebar *ground plane*

$$W_g = 6h + W_p \quad (3.5)$$

$$W_g = 35,926 \text{ mm}$$

5. Perhitungan lebar *feed* (W_f)

$$W_f = \frac{2h}{\pi} x \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} x \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (3.6)$$

Dimana,

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4,3}} = 5,711$$

Sehingga,

$$W_f = 3,11 \text{ mm}$$

6. Perhitungan panjang *feed*

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (3.7)$$

Dimana,

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.8)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{fr} \quad (3.9)$$

$$\lambda_g = 43,378 \text{ mm} \quad \text{dan} \quad \lambda_0 = 85,71 \text{ mm}$$

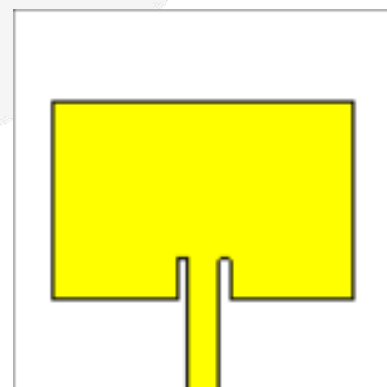
Sehingga,

$$L_f = 10,844 \text{ mm}$$

TABEL 3.1
Dimensi Awal Antena

Parameter	Nilai
Lebar <i>patch</i> (W_p)	26,326 mm
Panjang <i>patch</i> (L_p)	20,218 mm
Lebar <i>ground plane</i> (W_g)	35,926 mm
Panjang <i>ground plane</i> (L_g)	29,818 mm
Lebar <i>Feed</i> (W_f)	3,11 mm
Panjang <i>Feed</i> (L_f)	10,844 mm
Ketebalan substrat (h)	1,6 mm

B. Simulasi Antena



GAMBAR 3.1
Antena Mikrostrip

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan hasil perhitungan dimensi antena, parameter yang didapatkan masih belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan,

sehingga perlu optimasi agar spesifikasi terpenuhi. Setelah optimasi, didapatkan hasil pada **Tabel 3.2**.

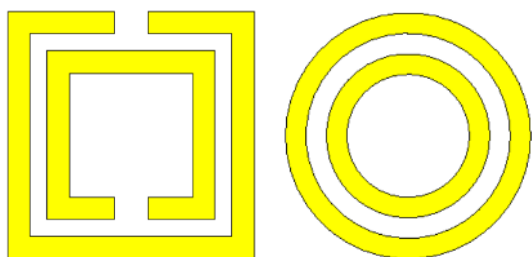
TABEL 3.2
Parameter Antena Optimasi

Parameter	Nilai
Panjang patch (L_p)	19,7 mm
Lebar Patch (W_p)	29,735 mm
Lebar ground plane (W_g)	38,14 mm
Panjang ground plane (L_g)	38,14 mm
Lebar Feed (W_f)	3,28 mm
Panjang feed (L_f)	19,07 mm
ketebalan substrat	1,6 mm
Gap insert feed (Gap)	1 mm
Panjang insert feed (l_{gap})	4 mm

Setelah dioptimasi, nilai *gain* yang didapat adalah 3,52, *return loss* -30,301 db, *bandwidth* 172 MHz, VSWR 1,063 dengan pola radiasi *unidirectional* dan polarisasi linear. Karena telah memenuhi syarat *bandwidth* untuk aplikasi 5G dan frekuensi kerja telah berada pada 3,5 GHz, maka fabrikasi dapat dilakukan.

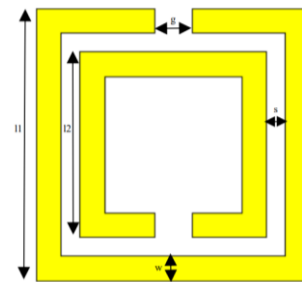
C. *Metasurface*

Penambahan *metasurface* pada perancangan ini akan diuji menggunakan dua jenis *unit cell* yang dipasang di dua sisi substratnya, yaitu *Square Split Ring Resonator* yang sudah sering digunakan pada perancangan metamaterial, dan *Double Circle Resonator*.



GAMBAR 3.2
Metasurface

D. Simulasi *Square Split Ring Resonator*



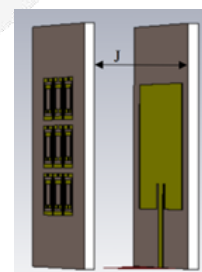
GAMBAR 3.3
Square Split Ring Resonator

SRR merupakan sepasang cincin annular yang dapat memunculkan respon magnetik yang efektif tanpa memerlukan bahan magnetik [2]. Dimensi untuk satu unit cell SRR perancangan ini terdapat pada **Tabel 3.3**.

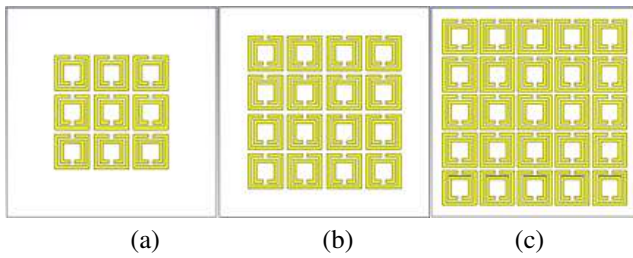
TABEL 3.3
Dimensi *Unit Cell SSRR*

Dimensi	Parameter	Nilai (mm)
Lebar ring terluar	l_1	6,6
Lebar ring dalam	l_2	4,5
Lebar ring	w	0,6
Lebar gap	g	0,9
Lebar split	s	0,45

Sebagai pengujiannya, jumlah *unit cells* yang digunakan adalah 3x3, 4x4 dan 5x5 untuk mengamati pengaruhnya pada nilai yang didapatkan oleh antena utama. Selain pengaruh jumlah *unit cell* dan lebar substrat, simulasi *metasurface* di sini juga mengamati pengaruh jarak antara antena utama dengan lapisan *metasurface* untuk menentukan jarak yang optimum untuk mendapatkan hasil peningkatan yang optimal.



GAMBAR 3.4
Pengujian Jarak



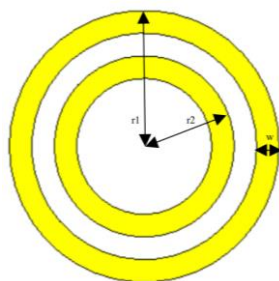
(a) (b) (c)

GAMBAR 3.5

Unit Cell SSRR (a) 3x3 (b) 4x4 (c) 5x5

Dari hasil simulasi *metasurface Square SRR*, dengan dimensi ring yang tidak diubah, dilakukan pengamatan terhadap faktor lain seperti jarak *metasurface* dan antena, besar substrat *metasurface* dan jumlah *unit cells*. Hasil paling optimal setelah dilakukan beberapa kali simulasi yaitu didapatkan *metasurface* 3x3 dengan jarak dari antena utama 20 mm dan sisi substrat berukuran 40.

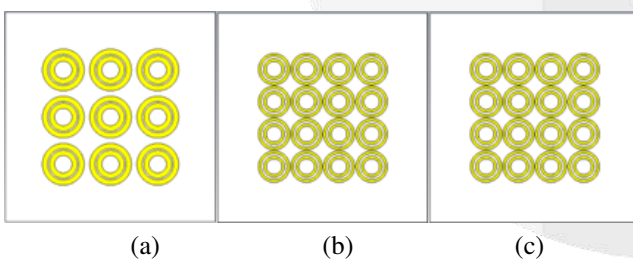
E. Simulasi *Double Circle Resonator*



GAMBAR 3.6

Double Circle Resonator

Dengan menggunakan nilai optimal lebar substrat dan jarak *metasurface* yang telah didapatkan, dilakukan simulasi pada *double circle resonator* sebagai penyerap gelombang, dengan membandingkan jumlah *unit cells*.



(a) (b) (c)

GAMBAR 3.7

Unit Cell Double Circle Resonator

(a) 3x3 (b) 4x4 (c) 5x5

Dimensi 3x3:

TABEL 3.4

Dimensi *Double Circle Resonator* 3x3

Dimensi	Parameter	Nilai (mm)
Lebar ring	w	1
Jari jari ke ring luar	$r1$	4

Jari jari ke ring dalam	$r2$	2.67
-------------------------	------	------

Dimensi 4x4 dan 5x5:

Tabel 3.5

Dimensi *Double Circle Resonator* 4x4 dan 5x5

Dimensi	Parameter	Nilai (mm)
Lebar ring	w	0.5
Jari jari ke ring luar	$r1$	3
Jari jari ke ring dalam	$r2$	2

Pada simulasi *metasurface* 3x3 untuk *unit cell double circle resonator*, memiliki dimensi yang berbeda dari 4x4 dan 5x5, hal ini dikarenakan untuk menjaga ukuran substrat *metasurface* agar tetap *compact* dan tidak memiliki dimensi yang berbeda terlalu jauh dari antena utama.

Dari hasil simulasi, *gain* yang paling optimal terdapat pada jumlah 4x4. Dengan *gain* 4,62 dBi, *return loss* -27,678 dB, *VSWR* 1,086 dan nilai *bandwidth* 186,3 pada frekuensi kerja 3,576.

F. Perbandingan

Setelah dilakukan beberapa simulasi, *double circle resonator* memiliki rata-rata parameter yang lebih baik dibandingkan dengan *SSRR*. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada **Tabel 3.7**.

TABEL 3.6

Hasil Simulasi Antena

	Gain (dBi)	Return Loss (dB)	VSWR	Bandwidth (MHz)	Frek. (GHz)
Antena tanpa <i>Metasurface</i>	3,520	-30,301	1,06	172	3,512

TABEL 3.7

Perbandingan Hasil Simulasi *Unit Cell Square Split Ring Resonator* dan *Double Circle Resonator*

Parameter	<i>Square Split Ring Resonator</i>			<i>Double Circle Resonator</i>		
	3x3	4x4	5x5	3x3	4x4	5x5
Gain (dBi)	4,55	4,37	3,86	4,54	4,62	4,39
Return Loss (dB)	-32,99	-29,54	-21,24	-33,53	-27,67	-45,61
VSWR	1,045	1,068	1,189	1,042	1,086	1,010
Bandwidth (MHz)	184,1	168,5	151,9	190,1	186,3	180,2
Frekuensi (GHz)	3,564	3,568	3,568	3,574	3,576	3,568

Gain tertinggi saat ditambahkan lapisan *metasurface* adalah penggunaan *unit cell double circle resonator* dengan

jumlah *unit cell* 4x4, pada jarak 20 mm dan lebar substrat *metasurface* yaitu 40 mm dengan nilai *gain* sebesar 4,62 *dBi*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

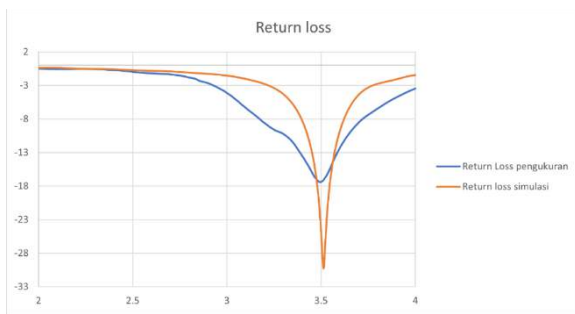
Pengujian antenna hasil fabrikasi dilakukan di laboratorium antenna, FTE, Universitas Telkom.

TABEL 4.1
Perbandingan *Gain*

	Gain (dBi)	
	Simulasi	Pengujian
Tanpa Metasurface	3,52	2,68
Dengan Metasurface	4,62	3,544

Pada simulasi, *metasurface* dapat menambahkan *gain* sebesar 1,1 *dBi*, sedangkan penambahan *metasurface* pada pengujian meningkatkan *gain* sebesar 0,864. Sifat *metasurface* ini memberikan pengaruh yang berbeda tergantung dimensi dan jenis antenna yang digunakan.

A. Hasil Pengujian Antena Tanpa *Metasurface*



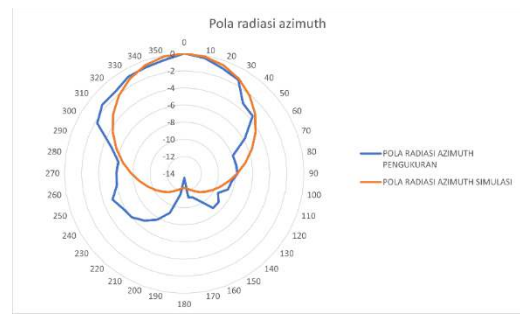
GAMBAR 4.1
Return Loss Antena

Return loss antenna mikrostrip mengalami kenaikan yang cukup tinggi dari hasil simulasi. Pada simulasi nilai yang didapatkan adalah -30,301, sedangkan pada pengujian didapatkan nilai *return loss* sebesar -17,351 dB, yang berarti *return loss* mengalami kenaikan lebih dari 10 dB.

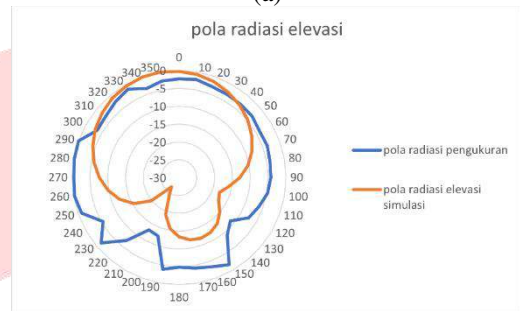


GAMBAR 4.2
VSWR Antena

VSWR pada pengujian mendapatkan hasil 1,393, mengalami kenaikan dari hasil simulasi yaitu 1,06. Kenaikan ini cukup tinggi namun masih memiliki nilai yang baik.



(a)



(b)

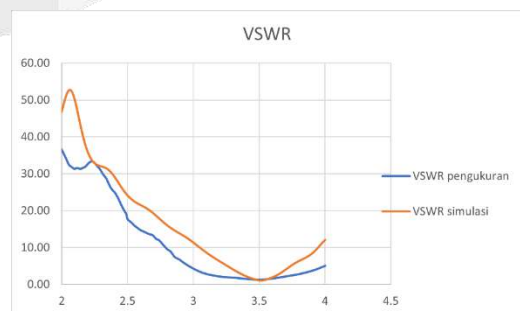
GAMBAR 4.3
Pola Radiasi Antena
(a) Azimuth (b) Elevasi

B. Hasil Pengujian Antena Dengan *Metasurface*



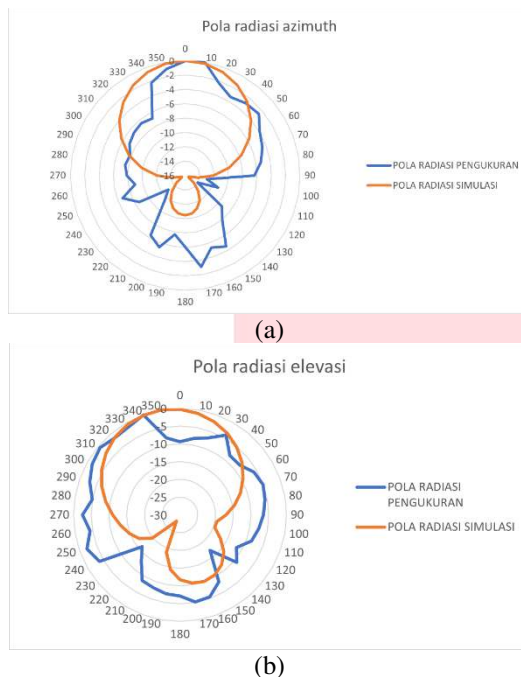
GAMBAR 4.4
Return Loss Antena dan Metasurface

Pada simulasi, *return loss* yang didapatkan antenna yang telah ditambahkan *metasurface* adalah sebesar -27,67 dB. Pada pengujian hasil fabrikasi, *return loss* mengalami kenaikan menjadi -20,064 dB, hasil ini memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan antenna tanpa *metasurface*.



GAMBAR 4.5
VSWR Antena dan Metasurface

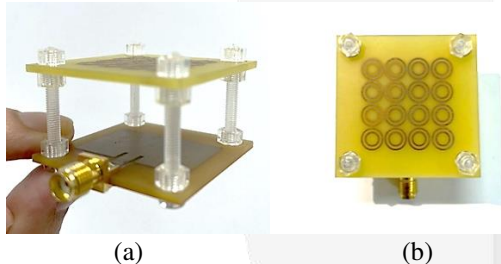
VSWR pada hasil simulasi memiliki nilai sebesar 1,086. Pada pengujian hasil fabrikasinya, nilai VSWR naik menjadi 1,2204.



GAMBAR 4.6

Pola Radiasi Antena dan *Metasurface*
(a) Azimuth (b) Elevasi

C. Dokumentasi



GAMBAR 4.7

Antena dan *Metasurface*
(a) Tampak Samping (b) Tampak Depan

Untuk pengaplikasian *metasurface* pada antenna, antenna dan *metasurface* disusun menggunakan *spacer* baut akrilik dan diberi jarak terbaik dari hasil simulasi yaitu 20 mm atau 2 cm.

V. KESIMPULAN

Hasil setelah pengujian memiliki perbedaan yang cukup signifikan dari hasil simulasi, hal ini dikarenakan oleh faktor eksternal pada saat pengujian. Faktor-faktor yang memengaruhi turunnya *gain* pada saat pengujian dapat diakibatkan oleh dimensi fabrikasi *metasurface* yang tidak sesuai dengan simulasi, yang mana hasil penambahan *gain* terbaik pada saat simulasi adalah dengan menggunakan substrat sebesar 40 mm. Namun pada fabrikasi, substrat yang tercetak memiliki ukuran sama dengan antenna, yaitu 38,14 mm. Selain dimensi substrat, pengaruh eksternal seperti pengaruh ruangan pengujian dimana pengujian tidak dilakukan di ruangan hampa udara, beberapa faktor umum yang ada di ruangan seperti noise, suhu ruangan, udara dan

benda-benda yang berada di ruangan dapat memengaruhi hasil pengujian.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah *metasurface* mampu meningkatkan parameter dari antenna dan memberikan efek *less-lossy* karena selisih penurunan parameter dari simulasi dan pengujian yang didapatkan antenna tanpa *metasurface* lebih tinggi daripada antenna dengan *metasurface*. Peningkatan parameter dipengaruhi oleh dimensi (baik dimensi *unit cell* maupun substrat yang digunakan *metasurface*), jarak antara antenna dan *metasurface* dan parameter utama dari antenna itu sendiri. Untuk peningkatan *gain* dengan perlakuan *double sided* dan diletakkan pada jarak tertentu di depan antenna, *metasurface* dengan *unit cell double circle resonator* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan dengan *square split ring resonator*.

Penelitian lebih lanjut untuk penambahan *metasurface* menggunakan substrat, dimensi dan jenis *unit cell* yang berbeda berdasarkan spesifikasi yang diperlukan dapat digunakan sebagai bahan untuk studi selanjutnya.

REFERENSI

- [1] Dr. Mario Junior Mencagly, *Manipulation of Surface Waves through Metasurfaces*. Springer Theses: Siena, Italia (2018)
- [2] 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 2010, pp. 1-6, 2010
- [3] Balanis, C.A., *Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edition*. Harper & Row, New York, (2005)
- [4] K. Gangwar, D. Paras dan D. R. Gangwar, *Metamaterials: Characteristics, Process and Applications*, Advance in Electronic and Electrical Engineering, vol. 4, pp. 97-106, (2014)
- [5] Holloway CL, Kuester EF, Gordon JA, O'Hara J, Booth J, Smith DR, *An overview of the theory and applications of metasurfaces: the two-dimensional equivalents of metamaterials*. IEEE Antennas Propag Mag 54(2):10–35, (2012)
- [6] Prof. Dr.-Ing. Ulrich Trick, *An Introduction to the 5th Generation Mobile Networks*. Deutsche Nationalbibliothek: Frankfurt/M., Germany (2021)
- [7] S. Renaldy, F. T. Elektro, and U. Telkom, *Studi Konfigurasi Patch Mikrostrip Sebagai Metasurface Penyerap Gelombang Elektromagnetik*, Bandung, Indonesia (2019)
- [8] G. F. Heraldly, F. T. Elektro, and U. Telkom, *Peningkatan Gain Antena Mikrostrip Menggunakan Metamaterial Sebagai Reflektor Dalam Komunikasi 5G Pada Frekuensi 3.5 GHz*, Bandung, Indonesia (2021)
- [9] A. Hussein, *Metamaterial for Gain Enhancement of Printed Antennas: Theory, Measurements and Optimization*. IEEE Xplore, doi:10.1109/SIEPCPC.2011.5876888, Waterloo, Canada (2011)
- [10] Wang, J. Li, Y. Jiang, ZH. Shi, T. Tang, MC. Zhou, Z.

Metantenna: When Metasurface Meets Antenna Again.
IEEE Trans Antennas Propag, 2020: 68(3):1332–1347

