

Realisasi Antena BTS Mini 1800 MHz Menggunakan Antena Mikrostrip Lingkaran Artifisial dengan Pencatuan *Proximity Coupling* dan Mode Gelombang TM_{01}

Dania Farahiyah¹, Hepi Ludyati²,

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : dania86farahiyah@gmail.com¹, hepi.ludyati@polban.ac.id²

ABSTRAK

Letak geologis Indonesia yang berada diantara pertemuan tiga lempeng utama dunia menjadi salah satu faktor seringkali terjadi bencana alam. Ketika bencana alam terjadi, banyak bangunan-bangunan yang hancur termasuk tower-tower *Base Transceiver Station* (BTS). Hal tersebut menyebabkan jaringan komunikasi menjadi terhambat. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan penyediaan BTS Mini yang memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga *portable* dan dapat digunakan dalam kondisi darurat. Salah satu komponen penting dalam sebuah BTS adalah antena. Pada makalah ini, telah dirancang dan direalisasikan antena mikrostrip lingkaran pada frekuensi 1800MHz dengan pencatuan *proximity coupling*. Antena diimplementasikan menggunakan substrat material dielektrik artifisial, yaitu akrilik yang telah dimodifikasi sifat-sifat permitivitasnya melalui proses elektromagnetisasi. Tujuannya adalah untuk meningkatkan nilai permitivitasnya sehingga ketika digunakan sebagai substrat pada antena mikrostrip yang dibuat akan menghasilkan dimensi yang lebih kecil. Proses elektromagnetisasi dilakukan dengan menanamkan kawat-kawat tipis pada konfigurasi mode gelombang TM_{01} di arah propagasi gelombang pancaran antena. Selanjutnya antena ini dinamakan antena mikrostrip artifisial. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa antena mikrostrip artifisial dengan pencatuan *proximity coupling* memiliki frekuensi kerja 1800.4MHz, *bandwidth* 168.6MHz, *return loss* 38.27dB, pola radiasi direksional, dan gain ≥ 5 dBi. Antena ini memiliki dimensi lebih kecil 11.11% dibandingkan dengan antena mikrostrip konvensional yang digunakan untuk BTS pada umumnya.

Kata kunci

BTS Mini, Akrilik, Antena Mikrostrip, Material Dielektrik Artifisial, Proximity Coupling

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki 17.508 pulau [1], membentang dari Sabang sampai Merauke. Letak geografis Indonesia yang diapit oleh dua Samudra besar dunia, yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Letak geologis yang berada diantara pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Karena lokasi geografis dan geologis tersebut, maka di Indonesia sering terjadi bencana alam seperti gempa bumi dan tsunami. Ketika bencana alam terjadi, banyak rumah dan bangunan lainnya yang hancur, termasuk tower-tower BTS. Seperti pada kasus bencana alam yang terjadi di daerah Sulawesi Tengah. Menteri Komunikasi dan Informatika, Rudiantara, mengungkapkan hampir separuh dari *Base Transceiver Station* (BTS) yang ada di Sulawesi Tengah mengalami kerusakan terdampak gempa dan tsunami Palu. Hal tersebut membuat jaringan komunikasi sempat lumpuh di daerah tersebut usai terjadi gempa dan tsunami. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan penyediaan BTS Mini. BTS Mini dapat digunakan terutama dalam kondisi darurat ketika tower-tower hancur karena bencana. BTS Mini memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga mudah mudah ditempatkan di manapun dan *portable*.

Antena BTS mini membutuhkan antena berdimensi kecil dan bermassa ringan sehingga *portable* tetapi memiliki kinerja yang memenuhi syarat untuk sebuah antena BTS.

Antena yang memenuhi kriteria tersebut adalah antena mikrostrip. Namun disayangkan, antena mikrostrip konvensional yaitu antena mikrostrip berbahan substrat material dielektrik alami. Material dielektrik alami adalah sebutan bagi material dielektrik produksi industri melalui proses kimiawi. Material ini memiliki nilai permitivitas kecil dan variasi nilai terbatas, sedangkan portabilitas salah satunya harus terpenuhi berdimensi kecil dan bermassa ringan. Untuk menghasilkan dimensi kecil dibutuhkan material dielektrik dengan permitivitas tinggi. Pada makalah ini, penulis mengusulkan material dielektrik artifisial sebagai pengganti material dielektrik natural. Material ini merupakan akrilik yang telah diubah sifat permitivitasnya melalui proses elektromagnetisasi agar menghasilkan permitivitas yang tinggi. Akrilik dipilih agar antena bermassa ringan, tetapi kinerjanya memenuhi syarat untuk antena BTS. Dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak Ansoft HFSS®, kinerja antena disimulasikan dan dioptimasi. Hasil simulasi dan optimasi, diimplementasikan ke dalam produk berupa purwarupa antena mikrostrip.

Purwarupa antena mikrostrip menggunakan bentuk *patch* lingkaran untuk memaksimalkan gain antena. Adapun *bandwidth* sistem BTS, dipenuhi dengan memilih pencatuan antena mikrostrip menggunakan metoda *proximity coupling*. Dengan teknik pencatuan *proximity coupling* kita dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar walaupun dimensi antena kecil [2].

2. PEMBAHASAN

2.1 Material Dielektrik Artifisial yang Diusulkan

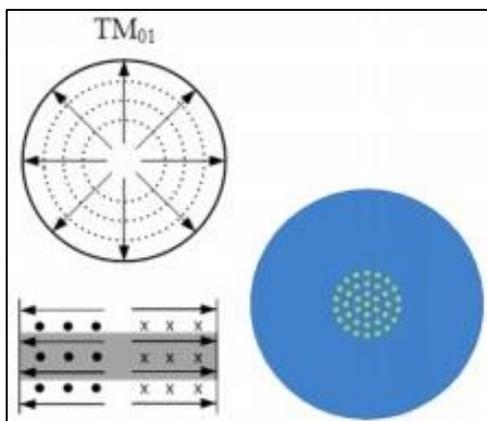
Berdasarkan pengkajian karya ilmiah sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya, didapat sebuah antena mikrostrip dengan teknik pencatutan yang digunakannya yaitu *coaxial probe*. Hal tersebut menjadi alasan utama penulis untuk membuat penelitian baru dengan teknik pencatutan yang digunakan *proximity coupling*, sehingga penulis dapat melihat perbedaan dari dua teknik pencatutan pada spesifikasi antena yang sama. Peralisarian purwarupa tersebut menggunakan material dielektrik artifisial dengan permitivitas anisotropis serta mode gelombang TM_{01} pada rentang frekuensi 1710 MHz-1890 MHz dengan frekuensi tengah 1800 MHz. Antena mikrostrip tersebut dibuat menggunakan bahan dasar material dielektrik akrilik.



Gambar 1. Material yang digunakan

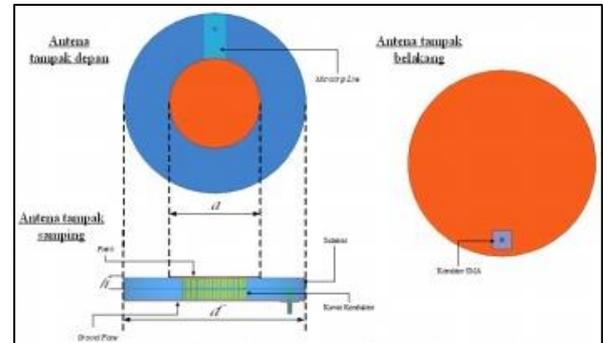
2.2 Antena Mikrostrip Lingkaran

Bentuk antena yang dibuat berbentuk lingkaran baik untuk bentuk substrat, *patch*, maupun *ground plane*. Proses pembuatan antena yang dibuat menggunakan teknik pencatutan *proximity coupling*, dengan konstruksi menggunakan dua material dielektrik akrilik yang berada diantara *patch* dan *ground plane*, untuk pencatutannya menggunakan konektor SMA yang menempel pada *ground plane* dan *inner* konektor tersambung pada *mikrostrip line* yang berada diantara dua substrat (diapit). Untuk gambaran bentuk antena yang lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Konfigurasi material dielektrik TM_{01}

Material dielektrik artifisial berbahan akrilik yang dibuat, disisipi oleh kawat konduktor dengan ukuran 2 mm pada mode gelombang yang telah ditentukan, yaitu TM_{01} . Fungsi dari kawat konduktor tersebut adalah untuk menaikkan permitivitas bahan yang digunakan yang menyebabkan adanya penurunan frekuensi resonansi dari masing-masing antena itu sendiri.



Gambar 3. Bentuk antena mikrostrip artifisial

Dari Gambar 3, dapat dilihat lapisan pertama atau lapisan paling bawah dari antena mikrostrip merupakan *ground plane*. Lapisan ini terbuat dari material konduktor, karena berfungsi untuk menterminasi elektron-elektron yang berasal dari *patch*.

Kemudian lapisan kedua yang ditempatkan diantara *patch* dan *ground plane* adalah substrat yang terbuat dari material dielektrik alami yang memiliki nilai permitivitas tertentu. Umumnya substrat ini berbentuk PCB (*printed circuit board*), sehingga pemasangan *patch* dilakukan melalui proses elektromagnetisasi yang disebut *etching*. Penelitian ini mengusulkan substrat dielektrik alami diganti oleh substrat akrilik termodifikasi yang merupakan kategori material dielektrik artifisial. Pada antena artifisial terdapat sejumlah kawat-kawat tipis dipasangkan menembus permukaan akrilik alami dan menembus ke dalam akrilik, tanpa membuat hubung singkat *radiator* dengan *ground plane*.

Selanjutnya lapisan ketiga. Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan teknik pencatutan *proximity coupling*, maka lapisan ketiga ini merupakan *microstrip line* yang diapit diantara dua buah substrat. Sama halnya dengan *ground plane*, lapisan ini juga terbuat dari material konduktor, karena berfungsi sebagai pengkopling medan magnet yang berupa arus induksi. Di bagian elemen *microstrip line* terdapat satu titik catu yang dihubungkan ke sumber gelombang elektromagnetik melalui konektor SMA. Untuk mengetahui lebar dari *microstrip line*, dapat dicari menggunakan Persamaan (1) berikut [3].

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

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

Dengan : w_f = lebar *microstrip line*

h = tebal substrat

ϵ_r = permitivitas relatif bahan

$z_0 = \text{impedansi } (50 \Omega)$

Kemudian yang terakhir adalah lapisan yang paling atas dari antenna mikrostrip merupakan *patch*. Elemen ini terbuat dari material yang sama seperti *ground plane* dan *microstrip line*, yaitu material konduktor, karena berfungsi sebagai peradiasi. Ketebalan material konduktor yang digunakan adalah 0.5 mm. Mode gelombang yang ingin dibangkitkan pada antenna mikrostrip lingkaran ini adalah mode TM_{01} . Untuk beresonansi pada suatu mode ini, dapat dihitung menggunakan persamaan matematik sebagai berikut [4].

$$a = \frac{v}{2\pi f_r} X'_{np} \quad (3)$$

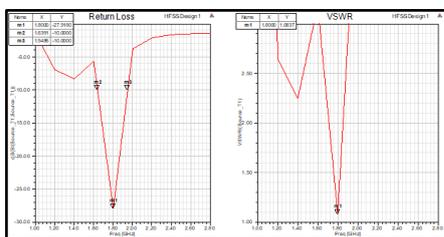
dengan $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ dan X'_{np} adalah akar-akar turunan pertama Bessel yang mana untuk mode TE pertama adalah $X'_{01} = 3.832$ untuk mode TM_{01} . Jari-jari yang diimplementasikan adalah jari-jari efektif. Penamaan ini diberikan sebagai akibat adanya medan limpahan (*fringing fields*) di setiap sisi elemen peradiasi atau *patch*. Jari-jari efektif antenna mikrostrip lingkaran dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) berikut.

$$a_e = \frac{a}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln\left(\frac{\pi a}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^2} \quad (4)$$

- Dengan : a = jari-jari *patch*
- a_e = jari-jari efektif
- f_r = frekuensi kerja
- c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 m/s$)
- X'_{np} = akar-akar turunan pertama Bessel

3. SIMULASI

Sebelum antenna direalisasikan, dilakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan aplikasi Ansoft HFSS®. Simulasi ini meliputi desain dan kurva yang dihasilkan dari antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial yang akan direalisasikan.



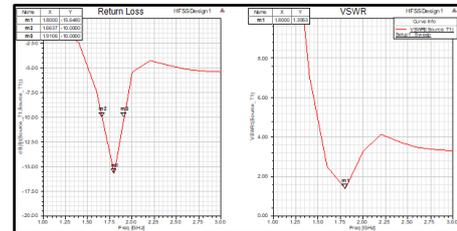
Gambar 4. Kurva *return loss* hasil simulasi antenna mikrostrip konvensional

Tabel 1. Spesifikasi hasil simulasi antenna mikrostrip konvensional

Parameter	Keterangan
<i>Frequency center</i>	1800 MHz
<i>Bandwidth</i>	310 MHz
<i>Return loss</i>	27.9180 dB

VSWR	1.0837
------	--------

Gambar 4 dan Tabel 1 merupakan hasil simulasi yang dilakukan pada antenna mikrostrip konvensional. Dari data tersebut, dapat dilihat pada frekuensi tengah 1800 MHz menghasilkan *return loss* sebesar 27.9180 dB dan VSWR 1.0837 dengan *bandwidth* 310 MHz.



Gambar 5. Kurva *return loss* hasil simulasi antenna mikrostrip artifisial

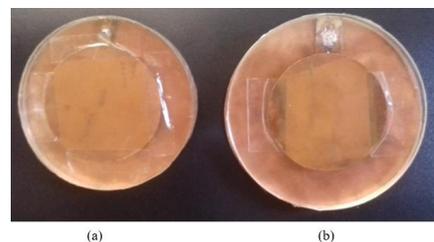
Tabel 2. Spesifikasi hasil simulasi antenna mikrostrip artifisial

Parameter	Keterangan
<i>Frequency center</i>	1800 MHz
<i>Bandwidth</i>	247 MHz
<i>Return loss</i>	15.648 dB
VSWR	1.3953

Gambar 5 dan Tabel 2 merupakan hasil simulasi yang dilakukan pada antenna mikrostrip artifisial. Dari data tersebut, dapat dilihat pada frekuensi tengah 1800 MHz menghasilkan *return loss* sebesar 15.648 dB dan VSWR 1.3953 dengan *bandwidth* 247 MHz.

4. HASIL PENGUKURAN

Gambar bawah ini merupakan gambar antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial yang telah direalisasikan. Setelah direalisasikan tahap selanjutnya adalah proses pengukuran untuk mengetahui performa dari antenna yang telah direalisasikan tersebut.



Gambar 6. Tampak depan (a) antenna mikrostrip artifisial; (b) antenna mikrostrip konvensional



Gambar 7. Tampak belakang (a) antenna mikrostrip artifisial; (b) antenna mikrostrip konvensional



Gambar 8. Tampak samping (a) antenna mikrostrip artifisial; (b) antenna mikrostrip konvensional

4.1 Pengukuran Return Loss, Bandwidth, dan VSWR

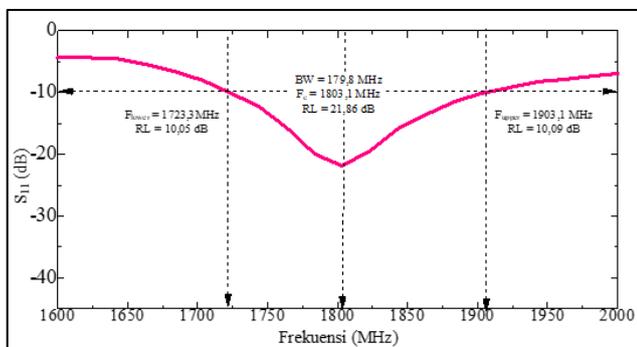
Pada pengukuran antenna mikrostrip konvensional dilakukan pengambilan data untuk dibandingkan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan data yang berupa frekuensi bawah, tengah, atas, *return loss*, dan *bandwidth*. Dari nilai *return loss* (*RL*) yang sudah diketahui, dapat dicari nilai koefisien pantul (*Γ*) dengan menggunakan Persamaan (5) berikut:

$$RL = -20 \log|\Gamma| \quad (5)$$

Kemudian untuk mengetahui nilai VSWR dapat dihitung menggunakan Persamaan (6) berikut:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (6)$$

Berikut digambarkan kurva respon frekuensi hasil pengukuran *return loss* yang ditunjukkan pada Gambar 9. Kurva tersebut sudah dilengkapi dengan informasi terkait frekuensi, *return loss*, dan *bandwidth* dari antenna yang diukur.

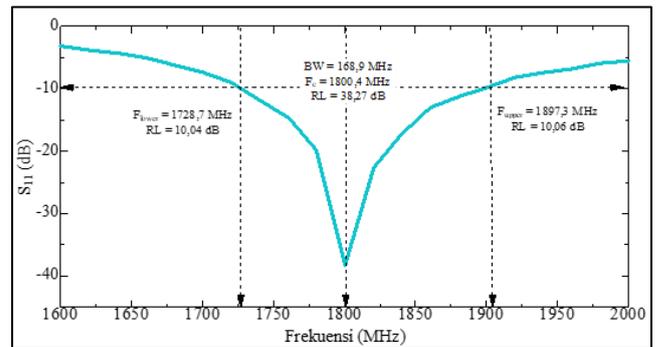


Gambar 9. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional

Sama seperti pada pengukuran antenna mikrostrip konvensional, pada pengukuran antenna mikrostrip artifisial ini juga dilakukan pengambilan data untuk dibandingkan

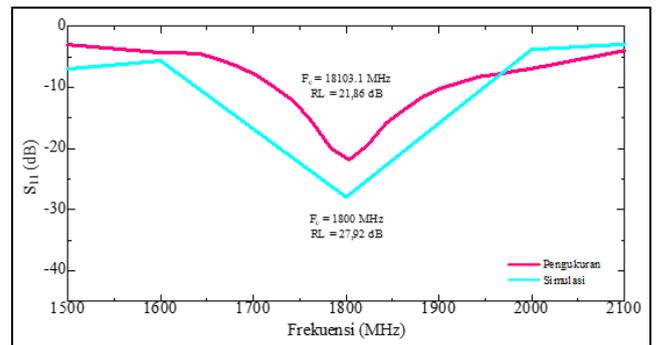
dengan hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dari pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan data yang berupa frekuensi bawah, tengah, atas, *return loss*, dan *bandwidth*.

Berikut digambarkan kurva respon frekuensi hasil pengukuran *return loss* yang ditunjukkan pada Gambar 10. Kurva tersebut sudah dilengkapi dengan informasi terkait frekuensi, *return loss*, dan *bandwidth* dari antenna yang diukur.

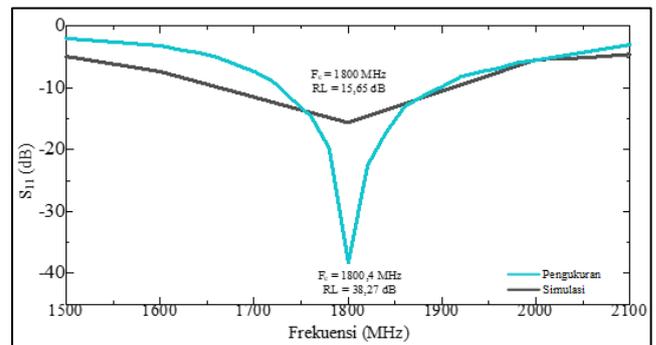


Gambar 10. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip artifisial

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda antara hasil pengukuran dengan simulasi baik pada antenna mikrostrip konvensional maupun pada antenna mikrostrip artifisial. Perbedaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk hasil pengukuran dan simulasi pada antenna mikrostrip konvensional



Gambar 12. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk hasil pengukuran dan simulasi pada antenna mikrostrip artifisial

Dari kurva tersebut, dapat dilihat perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi baik pada antenna mikrostrip konvensional maupun pada antenna mikrostrip artifisial. Untuk mempermudah pembacaan data, maka hasil perhitungan dan hasil simulasi akan ditabelkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

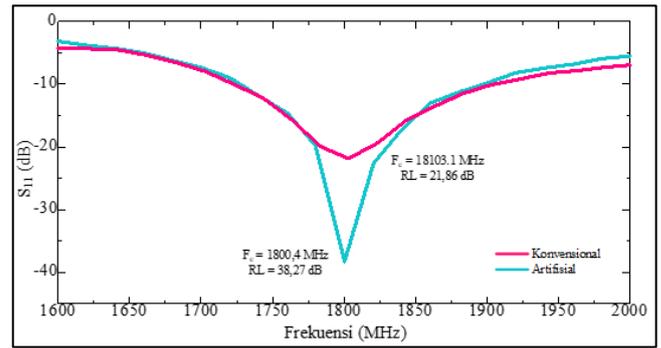
Tabel 3. Perbandingan antara hasil pengukuran dengan simulasi pada antenna mikrostrip

Parameter	Konvensional		Artifisial	
	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran	Simulasi
Frekuensi Bawah (MHz)	1723.3	1639.1	1728.7	1663.7
Frekuensi Tengah (MHz)	1803.1	1800	1800.4	1800
Frekuensi Atas (MHz)	1903.1	1948.6	1897.3	1910.6
Bandwidth (MHz)	179.8	309.5	168.6	246.9
Return loss (dB)	21.86	27.92	38.27	15.65
VSWR	1.17	1.0837	1.02	1.3953

Dari Tabel 3 tersebut, dapat dilihat perbedaan pada parameter-parameter yang diukur baik pada antenna mikrostrip konvensional maupun pada antenna mikrostrip artifisial. Pada simulasi, *bandwidth* antenna yang dihasilkan lebih lebar jika dibandingkan dengan hasil pengukuran. Pada antenna mikrostrip konvensional, *bandwidth* hasil simulasi lebih lebar 72.14%. Sama halnya dengan antenna mikrostrip konvensional, pada antenna mikrostrip artifisial *bandwidth* hasil simulasi juga lebih lebar 46.44% jika dibandingkan dengan hasil pengukuran.

Nilai *return loss* antenna mikrostrip konvensional pada hasil pengukuran lebih kecil 21.07% jika dibandingkan dengan nilai *return loss* pada simulasi. Lain halnya dengan antenna mikrostrip konvensional, pada antenna mikrostrip artifisial hasil pengukuran lebih besar 144.57% dibandingkan dengan nilai *return loss* pada simulasi.

Selain membandingkan hasil pengukuran dengan simulasi, dibandingkan pula hasil pengukuran antara antenna mikrostrip konvensional dengan antenna mikrostrip artifisial. Pada antenna mikrostrip konvensional, frekuensi tengah yang dihasilkan sebesar 1803.1 MHz dengan nilai *return loss* sebesar 21.86 dB. Sedangkan pada antenna mikrostrip artifisial, frekuensi tengah yang dihasilkan sebesar 1800.4 MHz dengan nilai *return loss* sebesar 38.27 dB. Kurva *return loss* kedua antenna ditunjukkan pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk hasil pengukuran antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial

Dari kurva hasil pengukuran tersebut, dilakukan perhitungan deviasi atau deviasi frekuensi yang terjadi untuk mengetahui besarnya deviasi frekuensi (S) menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

a) Frekuensi Tengah

$$S_{f_c} = \frac{f_{c_k} - f_{c_a}}{f_{c_k}} \times 100\% \quad (7)$$

b) Frekuensi Bawah

$$S_{f_l} = \frac{f_{l_a} - f_{l_k}}{f_{l_k}} \times 100\% \quad (8)$$

c) Frekuensi Atas

$$S_{f_h} = \frac{f_{h_k} - f_{h_a}}{f_{h_k}} \times 100\% \quad (9)$$

Dengan : S = deviasi frekuensi

f_c = frekuensi tengah

f_l = frekuensi bawah

f_h = frekuensi atas

k = antenna mikrostrip konvensional

a = antenna mikrostrip artifisial

Dari hasil perhitungan nilai deviasi frekuensi antara antenna mikrostrip konvensional dengan antenna mikrostrip artifisial menggunakan rumus tersebut, didapatkan hasil nilai deviasi frekuensi yang dilakukan pada antenna mikrostrip artifisial terhadap antenna mikrostrip konvensional besarnya tidak melebihi 5% pada frekuensi tengah, frekuensi bawah, dan juga frekuensi atas. Dikarenakan nilai deviasi frekuensi kurang dari 5%, maka purwarupa antenna mikrostrip artifisial yang direalisasikan dapat dikatakan berhasil.

Kemudian dari hasil pengukuran yang telah dilakukan juga didapatkan *bandwidth* antenna mikrostrip konvensional sebesar 179.8 MHz dan antenna mikrostrip artifisial sebesar 168.6 MHz. Hasil tersebut mengalami kenaikan sebesar 30.76% untuk antenna mikrostrip konvensional dan kenaikan sebesar 60.42% untuk antenna mikrostrip artifisial dari purwarupa pada tugas akhir Ika Kartika, dimana teknik pencatutan yang digunakannya

coaxial probe dan menghasilkan *bandwidth* sebesar 137.5 MHz untuk antenna mikrostrip konvensional dan 105.1 MHz untuk antenna mikrostrip artifisial [5]. Hal tersebut dapat membuktikan teori bahwa teknik pencatuan *proximity coupling* dapat melebarkan *bandwidth* [2].

Setelah mendapatkan frekuensi kerja sesuai yang diinginkan dengan dimensi yang baru, maka selanjutnya akan dicari permitivitas relatif yang sesungguhnya dari antenna mikrostrip artifisial yang direalisasikan menggunakan Persamaan (10) dan Persamaan (11) sebagai berikut:

$$w = l = [(2 \times a) + (0,5 \times \lambda)] \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

Dengan : $w = l$ = diameter substrat dan *ground plane*
 λ = panjang gelombang

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai permitivitas relatif yang sesungguhnya untuk antenna mikrostrip konvensional sebesar 4.79. Selanjutnya akan dicari permitivitas relatif baru untuk antenna mikrostrip artifisial sesuai dengan tujuan dari tugas akhir ini yaitu untuk mendapatkan permitivitas baru. Untuk mencari permitivitas relatif antenna mikrostrip artifisial dapat dicari menggunakan Persamaan (12) sebagai berikut:

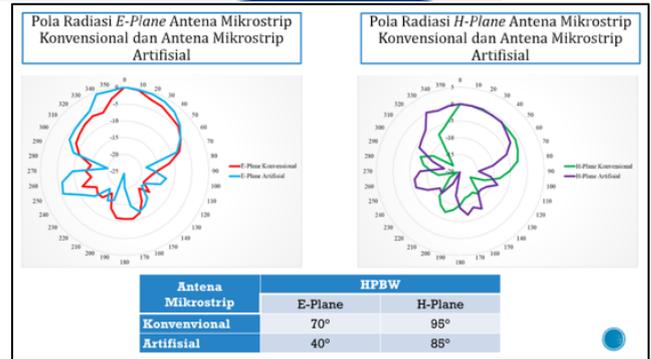
$$\frac{f_{r_k}}{f_{r_a}} = \frac{a_a \sqrt{\epsilon_{r_a}}}{a_k \sqrt{\epsilon_{r_k}}} \quad (12)$$

Dengan : f_{r_k} = frekuensi antenna mikrostrip konvensional
 f_{r_a} = frekuensi antenna mikrostrip artifisial
 a_k = jari-jari antenna mikrostrip konvensional
 a_a = jari-jari antenna mikrostrip artifisial
 ϵ_{r_k} = permitivitas antenna mikrostrip konvensional
 ϵ_{r_a} = permitivitas antenna mikrostrip artifisial

Dari perhitungan tersebut, diperoleh permitivitas relatif antenna mikrostrip artifisial yang sesungguhnya sebesar 5. Permitivitas relatif tersebut mengalami kenaikan sebesar 4.4% dari permitivitas relatif antenna mikrostrip konvensional.

4.2 Pengukuran Pola Radiasi

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan pada antenna mikrostrip dielektrik, didapatkan hasil pola radiasi seperti Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Pola radiasi antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial

Dari Gambar 14, dapat dilihat bahwa kedua antenna memiliki pola radiasi dengan satu *main lobe* dan beberapa *side lobe* yang cacat. Idealnya pola radiasi antenna mikrostrip dielektrik ini berbentuk direksional, yaitu antenna dengan pancaran gelombang elektromagnetik pada arah tertentu.

Untuk antenna mikrostrip konvensional, pola radiasi pada bidang *E-Plane* menghasilkan nilai HPBW sebesar 70° dan pola radiasi pada bidang *H-Plane* memiliki nilai HPBW sebesar 95°. Sedangkan untuk antenna mikrostrip artifisial, pola radiasi pada bidang *E-Plane* menghasilkan nilai HPBW sebesar 40° dan pola radiasi pada bidang *H-Plane* memiliki nilai HPBW sebesar 85°.

Perbandingan bentuk pola radiasi pada bidang *E-Plane* dengan *H-Plane* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 14 memiliki bentuk yang hampir serupa. Hal tersebut disebabkan oleh bentuk antenna yang sirkular sehingga bentuk pola radiasi pada bidang *E-Plane* dan *H-Plane* nya tidak akan jauh berbeda.

Pada pengukuran pola radiasi, level daya yang terbaca pada alat ukur tidak konstan, atau terus berubah-ubah. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor ketika pengukuran, seperti ruangan yang tidak bebas pantulan, pengarahan antenna yang masih dilakukan secara manual sehingga ketidakakuratan bisa terjadi.

4.3 Pengukuran Gain

Pada pengukuran gain antenna mikrostrip *patch* lingkaran yang dilakukan pada antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial pengambilan data dilakukan pada frekuensi tengah 1800 MHz. Berikut ditampilkan data hasil pengukuran antenna mikrostrip dengan level daya maksimum yang diterima pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Level daya maksimum pada hasil pengukuran antenna mikrostrip

Antena	Level Daya Maksimum (dBm)	
	<i>E-Plane</i>	<i>H-Plane</i>
Konvensional	-35.8	-35.6
TM ₀₁	-35.5	-35
Referensi	-43.3	-38.3

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap level daya maksimum yang diterima seperti pada Tabel 4, maka untuk menentukan nilai gain antenna dapat dicari dengan Persamaan (13) sebagai berikut:

$$G_t(dBi) = P_t(dBm) - P_r(dBm) + G_r(dBi) \quad (13)$$

Dengan : G_t = gain antenna yang diukur
 P_t = level daya maksimum antenna yang diukur
 P_r = level daya maksimum antenna referensi
 G_r = gain antenna referensi

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan Persamaan (13), didapatkan hasil pengukuran gain antenna seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan gain antenna

Gain	Konvensional		Artifisial	
	E-Plane	H-Plane	E-Plane	H-Plane
	11.8 dBi	7.3 dBi	12.1 dBi	7.6 dBi

Dari Tabel 5, dapat dilihat gain antenna terbesar dimiliki oleh antenna pada pengukuran bidang *E-Plane*, baik antenna mikrostrip konvensional maupun antenna mikrostrip artifisial. Gain pada bidang *E-Plane* antenna mikrostrip konvensional sebesar 11.8 dBi dan antenna mikrostrip artifisial sebesar 12.1 dBi. Pada antenna mikrostrip artifisial, gain antenna lebih besar dibandingkan dengan gain antenna pada antenna mikrostrip konvensional, baik pada bidang *E-Plane* maupun bidang *H-Plane*. Hal tersebut dikarena pengaruh dari kawat konduktor pada antenna mikrostrip artifisial. Namun secara keseluruhan, kedua antenna memiliki gain yang sudah memenuhi spesifikasi teknis yang ditentukan diawal, yaitu ≥ 5 dBi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, perealisasiannya, dan hasil pengukuran yang telah dilakukan pada antenna mikrostrip dielektrik dengan *patch* lingkaran, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Antena mikrostrip artifisial yang dirancang dapat direalisasikan dengan dimensi 18.37% lebih kecil dari antenna mikrostrip konvensional dan nilai permitivitas relatif bahan yang sebenarnya naik dari 4.79 menjadi 5.
2. Antena mikrostrip yang dirancang dapat direalisasikan pada rentang frekuensi 1710 MHz – 1890 MHz dengan *return loss* ≥ 10 dB. Frekuensi tengah antenna mikrostrip konvensional sebesar 1803.1 MHz dengan *return loss* 21.86 dB. Frekuensi tengah antenna mikrostrip artifisial sebesar 1800.4 MHz dengan *return loss* 38.27 dB.
3. Antena mikrostrip yang dirancang berhasil direalisasikan menggunakan teknik pencatutan *proximity coupling* dan menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkn dengan teknik pencatutan *coaxial probe* sesuai dengan teori *proximity coupling*. *Bandwidth* untuk antenna mikrostrip konvensional

sebesar 179.8 MHz dan 168.6 MHz untuk antenna mikrostrip artifisial.

4. Antena mikrostrip artifisial yang direalisasikan dikatakan berhasil karena nilai deviasi nya tidak melebihi 5% pada frekuensi tengah, frekuensi bawah, dan juga frekuensi atas.
5. Pola radiasi yang dihasilkan antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial dengan *patch* lingkaran berbentuk direksional.
6. Antena mikrostrip artifisial yang direalisasikan memiliki gain yang lebih tinggi dibandingkan antenna mikrostrip konvensional. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan kawat konduktor yang disisipkan pada medan listrik maksimum.

6. SARAN

Berdasarkan analisis dari hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi antenna seperti yang diinginkan, berikut beberapa hal yang bisa dijadikan saran agar kedepannya dapat lebih baik lagi. Beberapa saran tersebut diantara sebagai berikut:

1. Gunakan PC/laptop dengan spesifikasi yang menunjang agar proses simulasi tidak memerlukan waktu yang lama.
2. Gunakan mode TE dan TM lain dalam penyusunan kawat konduktor untuk mengetahui pengaruhnya dan dapat dilakukan perbandingan dengan tugas akhir ini.
3. Gunakan bentuk substrat atau *patch* yang lain, seperti *rectangular* atau *square* untuk mengetahui pengaruhnya dan dapat dilihat performa yang lebih bagus.
4. Gunakan jenis material dielektrik yang lain untuk mengetahui perbedaannya dengan tugas akhir ini.
5. Lakukan pengukuran pada ruangan yang kedap terhadap pantulan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada proses pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini sampai dengan selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dickson, "Ilmu Pengetahuan Umum," [Online]. Available: <https://ilmupengetahuanumum.com/profil-negara-indonesia/>. [Accessed 4 January 2019].
- [2] A. H. R. Fellix Deriko, "RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY PATCH SEGIEMPAT DUAL-BAND (2,3 GHz dan 3,3 GHz) DENGAN PENCATUAN PROXIMITY COUPLED," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 12, no. 23, pp. 18-22, 2015.
- [3] Y. R. E. S. Rio Juli Hendra, "ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP ARRAY BENTUK LINGKARAN DAN PERSEGI PANJANG MENGGUNAKAN

SIMULASI UNTUK APLIKASI LTE FREKUENSI 2.3 GHZ," *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, 2015.

- [4] E. W. P. N. Hepi Ludyati, "Analisa Karakteristik Antena Mikrostrip Lingkaran Berbahan Substrat Material Dielektrik Artifisial pada Frekuensi 1800 MHz," in *SENTER: Seminar Nasional Teknik Elektro 2018*, Bandung, 2018.
- [5] I. Kartika, "REALISASI ANTENA MIKROSTRIP LINGKARAN 1 ELEMEN MENGGUNAKAN PURWARUPA MATERIAL ELEKTROMAGNETIK INOVATIF BERBAHAN DASAR AKRILIK DENGAN MODE TM01 DAN TM11 PADA FREKUENSI 1800MHZ," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2018.