

Perancangan Antena Mikrostrip Dual-Band Menggunakan Metode S-Shaped Pada Frekuensi 1.8 dan 2.1 GHz Untuk RF Energi Harvesting

1st Novita
 Teknik Telekomunikasi
 Universitas Telkom Surabaya
 Surabaya, Indonesia
novitaa@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Fannush Shofi Akbar
 Teknik Telekomunikasi
 Universitas Telkom Surabaya
 Surabaya, Indonesia
fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

3rd Nilla Rachmaningrum
 Teknik Telekomunikasi
 Universitas Telkom Surabaya
 Surabaya, Indonesia
nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini membahas perancangan dan realisasi antena microstrip dual band pada frekuensi 1.8 GHz dan 2.1 GHz yang ditujukan untuk Sistem RF Energy Harvesting. Dari sinyal penyedia layanan seluler. Frekuensi 1.8 GHz dan 2.1 merupakan frekuensi utama yang digunakan operator seluler di Indonesia seperti Telkomsel, Indosar, dan XL Axianta untuk layanana 4G LTE. Pemilihan Frekuensi seluler juga didasari oleh tingginya ketersediaan sinyal di lingkungan perkotaan maupun perumahan, sehingga berpotensi menghasilkan daya RF yang lebih tinggi untuk dipanen dan di konversi menjadi energi Listrik. Antena dirancang menggunakan metode pencatuan koaksial (coaxial feed) dan dimodifikasi dengan slot membentuk S (S-shaped) pada patch untuk menciptakan resonansi tambahan, sehingga dapat beroperasi pada frekuensi kerja (dual-band). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunas CST Studio Siute 2019 dan memperoleh nilai Return Loss pada kedua frekuensi -16.5314 dan 16.1589 dengan nilai VSWR 1.350 dan 1.322 dengan bandwidth 2% dan 1.523% dan polarisasi linear. Hasil optimasi simulasi kemudian difabrikasi dan diuji menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) untuk mengevaluasi performa fisik antena dengan perolehan hasil pengukuran Return Loss pada kedua frekuensi -17.9084 dan 11.8406 dengan nilai VSWR 1.2915 dan 1.6875 dengan persentase bandwidth 3.036% dan 0.952%. Perbedaan antena hasil simulasi dan pengukuran di analisis berdasarkan faktor ketidak sempurnaan fabrikasi. Variasi substrat, dan pengaruh system pencatuan, sehingga antena ini dapat digunakan sebagai antena penerima pada sistem RF Energy Harvesting untuk memanen energi dari sinyal komunikasi seluler yang tersebar luas di lingkungan sekitar.

Kata kunci— Antena Microstrip, Dual-band Frekuensi, RF Energy Harvesting, S-shaped, S Parameter, Bandwidth, Return Loss.

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu hal yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari dalam melakukan aktifitas. Berbagai perwujudan energi dalam kehidupan sehari-hari adalah energi gerak, energi listrik, energi panas, energi cahaya, elektromagnetik dan lainnya [1]. *Energy Harvesting*

sendiri merupakan suatu proses panen energi dimana proses ini bersumber dari luar seperti surya atau matahari, panas, dan gelombang elektromagnetik. *Energy Harvesting* yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai sumber energinya disebut *RF Energy Harvesting* [16].

Seiring perkembangan teknologi yang pesat utamanya dalam bidang telekomunikasi telah banyak bidang telekomunikasi yang menyediakan layanan komunikasi dengan menggunakan gelombang elektromagnetik yang dapat kita temui pada pemancar radio, BTS Seluler, stasiun televisi, *transmitter wireless*, dan perangkat berbasis RF lainnya [7]. Teknologi tersebut dapat membantu kita untuk mendapatkan sumber energi yang dapat dimanfaatkan pada *Energy harvesting*.

Dengan memanfaatkan sumber daya dari antena pemancar yaitu BTS seluler dan antena penerima sebagai media transmisinya menuju sistem *RF Energy Harvesting*. Gelombang elektromagnetik akan dipancarkan dari BTS seluler dan akan ditangkap oleh antena pada sistem *RF Energy Harvesting*. Gelombang elektromagnetik yang diterima oleh oleh antena kemudia akan dikonversi menjadi energi tegangan DC atau energi listrik yang siap dipakai [4].

Namun untuk memanfaatkan teknologi jaringan seluler tersebut kita membutuhkan antena sebagai penerima RF untuk sistem *Energy Harvesting* yang kemudian dapat disalurkan ke dalam sistem tersebut.

Jaringan seluler sendiri memiliki beberapa pita frekuensi operator, dua diantaranya adalah 1.8 GHz dan 2.1 GHz [7]. Kedua frekuensi ini kemudia digunakan untuk peracangan antena *dual-band* mikrostrip pada sisi penertima yang bertujuan untuk menangkap kedua frekuensi tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode *s-shaped* pada desain antena mikrostrip agar dapat memberikan frekuensi resonansi tambahan. Metode ini merupakan hasil modifikasi patch antena mikrostrip *rectangular* dengan penambahan slot yang bertujuan untuk menghasilkan frekuensi resonansi tambahan pada antena mikrostrip agar antena dapat bekerja pada dua frekuensi yang bebeda (*dual-band*) [10]. Proses optimasi dilakukan terhadap dimensi antena setelah penambahan slot *s-shaped* untuk memperoleh frekuensi

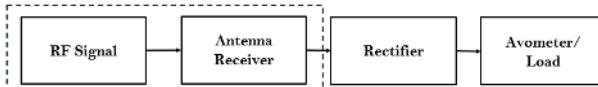
resonansi pada frekuensi 1.8 GHz dan 2.1 GHz. Antena kemudian dapat dimanfaatkan pada RF *Energy Harvesting* sebagai antena penerima pada sistemnya.

II. KAJIAN TEORI

A. Energy Harvesting

Energy Harvesting atau memanen energi merupakan proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang RF (Radio Frequency), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal [4]. Dalam sistemnya RF Energy Harvesting menggunakan gelombang elektromagnetik atau Radio Frequency (RF) dengan memanfaatkan antena pemancar dan antena penerima sebagai media transmisinya [5].

Gelombang Elektromagnetik akan dipancarkan dari pemancar seluler dan akan ditangkap oleh antena pada sistem RF Energy Harvesting. Frekuensi yang diterima oleh antena kemudian akan melalui proses rectifier atau penyearah gelombang yang merupakan bagian dari power supply/ catu daya yang fungsinya untuk mengkonversi sinyal elektromagnetik menjadi sinyal listrik [6] dan siap dipakai. Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul dituliskan dalam abjad.



GAMBAR 1

Dari sistem RF Energy Harvesting pada GAMBAR 1 antena hanya berperan sebagai penerima gelombang elektromagnetik dari udara yang dipancarkan oleh transmitter seperti Base Transceiver Station (BTS), Radio, Satelit, Wi-Fi dan transmitter lainnya. Pada penelitian ini, fokus utama untuk memperoleh gelombang elektromagnetik adalah Base Transceiver Station (BTS). Transmitter ini dapat memancarkan elektromagnetik pada frekuensi resonansi yang akan dijadikan referensi pada penelitian ini yaitu 1.8 GHz dan 2.1 GHz.

B. Antena

Antena merupakan perangkat konduktor yang berfungsi untuk menerima atau memancarkan sinyal gelombang elektromagnetik dari radiasi udara bebas menjadi besaran listrik kemudian disalurkan pada saluran transmisi [3].

Terdapat berbagai parameter antena yang harus diperhatikan dalam perancangan dan pembuatan antena agar suatu antena dapat dikatakan layak diaplikasikan. Parameter tersebut akan menentukan spesifikasi apa saja yang dimiliki oleh antena yang dirancang mulai dari frekuensi resonansi, bandwidth, VSWR, Return Loss, pola radiasi, dan impedansi yang dihasilkan [3].

C. Dimensi Antena Mikrostrip

Pada proses perancangan antena microstrip antena, yang dibutuhkan adalah perhitungan dimensi dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang ada. Dapat dimulai dari perhitungan dimensi panjang dan lebar patch antena (L_p dan W_p) pada persamaan (2.9) dan (2.10).

$$L_p = L_{effp} - 2 \cdot \Delta L_p \quad (1)$$

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

Keterangan :

L_p	= Panjang patch antena (mm)
L_{effp}	= Lebar efektif patch antena (m)
ΔL_p	= Pertambahan panjang patch antena
W_p	= Lebar patch antena (mm)
c	= Kecepatan cahaya (3x108 m/s)
f_r	= Frekuensi resonansi (Hz)
ϵ_r	= Konstanta dielektrik

Dimana untuk menghitung nilai panjang efektif patch antena:

$$L_{effp} = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{r\ eff}}} \quad (3)$$

$$\epsilon_{r\ eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \cdot h/w}} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

h = Ketebalan substrat (mm)

w = Lebar saluran antena (mm)

Efek fringing yang muncul di sepanjang sisi tepi peradiasi dapat dihitung:

$$\Delta L_p = 0.412 h \frac{(\epsilon_{r\ eff} + 0,3)(\frac{W}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{r\ eff} - 0,258)(\frac{W}{h} + 0,8)} \quad (5)$$

Untuk elemen pencatu dengan menggunakan koaksial:

$$X_f = \frac{L_p}{2} \quad (6)$$

$$Y_f = \frac{W_p}{2 \sqrt{\epsilon_{r\ eff}}} \quad (7)$$

Keterangan:

X_f = Posisi feed dari tepi patch dari grafik x (mm)

Y_f = Posisi feed dari tepi patch dari grafik y (mm)

Menghitung panjang dan lebar ground menggunakan persamaan;

$$L_g = L + 6h \quad (8)$$

$$W_g = w + 6h \quad (9)$$

Keterangan:

L_g = Panjang ground (m)

W_g = Lebar ground (m)

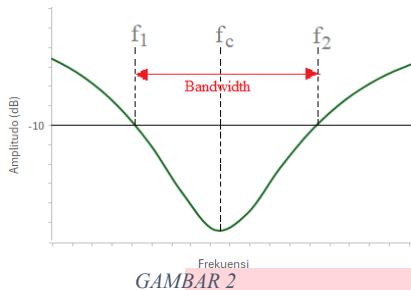
D. Frekuensi Resonansi

Di Indonesia operator frekuensi seluler (Telkomsel, XL, Indosat, Smartfren dll) menyediakan frekuensi seluler antara lain 850 MHz, 900 MHz, 1,8GHz, 2,1 GHz, dan 2,3 GHz. Pada penelitian ini frekuensi seluler yang akan digunakan yaitu 1,8 GHz dan 2,1 GHz. Tujuan pemilihan frekuensi ini adalah karena frekuensi ini sangat padat di daerah perkotaan sehingga mampu menghasilkan energi yang lebih banyak [7]. Jika dibandingkan dengan frekuensi 900 MHz tentu saja frekuensi 1.8 GHz menghasilkan dimensi yang lebih kecil dan akan lebih mudah untuk diaplikasikan pada sistem energi harvesting serta jarak spektrum yang dekat yaitu 300 MHz sehingga saat menggunakan metode dual-band tidak perlu desain yang kompleks. Frekuensi 2.3 GHz memang memiliki dimensi yang kecil dibanding frekuensi 1.8 GHz tetapi frekuensi ini hanya tersedia di beberapa cakupan wilayah dan tak sepadat frekuensi 1.8 GHz dan 2.1 GHz.

Rentang frekuensi resonansi atau frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat dari grafik VSWR ketika grafik menunjuk 2 atau lebih kecil dan grafik Return Loss jika bernilai lebih kecil atau sama dengan -10 dB [3].

E. Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita frekuensi didefinisikan sebagai besar rentang frekuensi kerja dari suatu antena dimana terdapat frekuensi atas dan bawah yang jika semakin ke bawah maka antena akan semakin baik dalam melakukan transmisi data [4]. GAMBAR 2 di berikut ini merupakan suatu contoh bandwidth.



GAMBAR 2

Bandwidth dapat terbentuk jika frekuensi resonansi yang kita butuhkan memiliki nilai *return loss* dibawah -10 dB seperti pada GAMBAR 2. Semakin kecil nilai *return loss* suatu antena pada frekuensi referensinya maka akan semakin kecil energi yang dipantulkan kembali dan semakin besar daya yang diterima oleh antena. Untuk mencari nilai *bandwidth* dapat digunakan persamaan berikut;

$$PBW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (10)$$

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad (11)$$

Keterangan

PBW = Persentase Bandwidth (%)

f_2 = Frekuensi tertinggi (GHz)

f_1 = Frekuensi terendah (GHz)

f_c = Frekuensi Tengah (GHz)

Dalam aplikasi seluler *bandwidth* memiliki rentang frekuensi yang harus memenuhi spesifikasi agar antena dapat bekerja. Spesifikasi tersebut secara rinci akan di perlihatkan pada Tabel 1 berikut ini.

TABEL 1

Teknologi Seluler	Bandwidth (f ₂ -f ₁)	Keterangan
GSM (2G)	200 KHz	Bandwidth Sempit
UMTS (3G)	5 MHz	Bandwidth 5 MHz
LTE (4G)	(1.4, 3, 5, 10, 15, 20) MHz	Bandwidth maksimal 20 MHz
5G NR	5-100 MHz	Bandwidth maksimal 100 MHz

Dari TABEL 1 sebelumnya *bandwidth* yang ideal untuk desain antena mikrostrip pada jaringan seluler khususnya dari tiap teknologi memiliki spesifikasi yang berbeda. Spesifikasi ini akan menjadi patokan untuk parameter yang akan dipakai pada penelitian ini.

TABEL 2

Tipe Antena	PBW ideal (%)	Karakteristik
Narrowband	< 2	Cocok untuk 1 kanal tetap (LTE, 3G, GSM)
Wideband	5-20	Cocok untuk multi-kanal
Ultra-wideband	>20	Dipakai di Radar (UWB)

TABEL 2 menjelaskan persentase ideal antena yang berdasarkan tipe antena dan karakteristik yang cocok pada persentase *bandwidth* tersebut. Jika tipe antena narrowband persentase bandwidthnya kurang dari 2 peresen pada tiap kanal transmitter. Sementara untuk tipe antena Wideband

persentase bandwidth idelanya 5 hingga 20 persen untuk multi-kanal dan ultrawideband persentase bandwidthnya lebih dari 20 persen yang bisa dipakai untuk radar.

F. Antena Mikrostrip Dual-Band S-Shaped

Antena dual-band adalah jenis antena mikrosrip yang dirancang untuk beresonansi pada dua frekuensi yang berbeda. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menghasilkan karakteristik dual-band pada antena mikrostrip adalah dengan menambahkan slot atau celah pada patch antena, sehingga menciptakan jalur resonansi tambahan [10].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membentuk slot pada antena mikrostrip adalah dengan menggunakan metode s-shaped [10]. Metode ini merupakan hasil modifikasi patch antena mikrostrip rectangular dengan penambahan slot yang bertujuan untuk menghasilkan frekuensi resonansi tambahan pada antena mikrostrip. Metode ini memungkinkan antena bekerja pada dua pita frekuensi yang berbeda, sehingga menghasilkan frekuensi dual-band [10].

Antena dual-band dalam aplikasi RF energy harvesting, penggunaan antena dual-band dinilai lebih efisien dibandingkan antena single-band karena dapat memanen daya dari dua sumber frekuensi sekaligus, tanpa menambah kompleksitas seperti pada antena multiband. Kedua frekuensi resonansi yang diterima akan dikonversi menjadi daya listrik, yang kemudian dapat dijumlahkan untuk meningkatkan total daya yang dihasilkan [10].

Antena dual-band mampu menerima frekuensi resonansi yang berbeda pada rentang frekuensi tertentu. Dalam aplikasi RF energy harvesting, penggunaan antena dual-band dinilai lebih efisien dibandingkan antena single-band karena dapat memanen daya dari dua sumber frekuensi sekaligus, tanpa menambah kompleksitas seperti pada antena multiband. Kedua frekuensi resonansi yang diterima akan dikonversi menjadi daya listrik, yang kemudian dapat dijumlahkan untuk meningkatkan total daya yang dihasilkan [10].

Untuk menghitung Panjang slot yang akan digunakan berikut ini merupakan rumus yang akan digunakan.

Menghitung slot antena *dual-band*

$$L_{slot} = \frac{\lambda_{eff}}{2} \quad (12)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (13)$$

Keterangan:

L_{slot} = Panjang slot (mm)

λ_{eff} = Panjang gelombang efektif

G. CST Studio Suite

CST Studio Suite merupakan salah satu contoh perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan simulasi dalam merancang desain antena. Aplikasi ini memuat beberapa fitur yang dapat membantu untuk mendesain antena dan simulasi sinyal elektromagnetik. Dengan tampilan gambar vektor yang akan mempermudah untuk menganalisis dan memperoleh gambaran sederhana pada perancangan yang di buat dan sekaligus dapat digunakan untuk mensimulasikan sinyal elektromagnetik dari hasil perancangan.

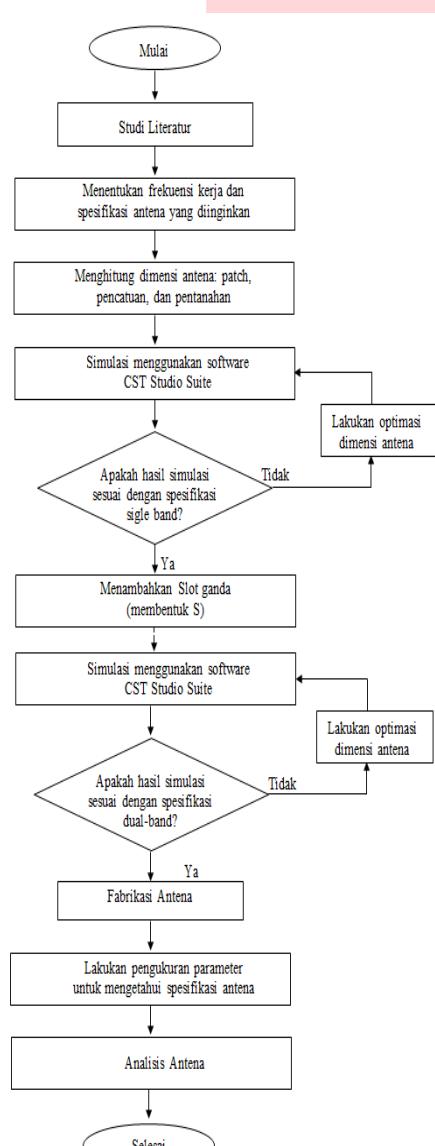
III. METODE

A. Alur Penelitian

Dalam merancang dan mensimulasikan antena mikrostrip, pada GAMBAR 3 terdapat beberapa tahapan yang perlu diperhatikan.

Mulai dari studi literatur dimana kita mencari kajian-kajian yang dibutuhkan dan berkaitan dengan perancangan yang akan dibuat, tahap penentuan frekuensi kerja dan spesifikasi antena yang diinginkan, menghitung dimensi antena, dan proses simulasi. Pada proses simulasi kemungkinan terjadi beberapa hasil yang tidak sesuai dengan spesifikasi maka perlu kita lakukan optimasi dimensi antena pada proses simulasi hingga memperoleh hasil simulasi yang sesuai dengan spesifikasi.

Antena penerima pada RF *Energy Harvesting* menerima sinyal elektromagnetik atau frekuensi radio dari antena seluler yang kemudian pada proses rectifier sinyal tersebut kemudian diubah menjadi sinyal listrik.



GAMBAR 3

B. Penentuan Spesifikasi

Pada antena mikrostrip menggunakan frekuensi untuk melakukan pekerjaannya untuk mengirim ataupun menerima sinyal yaitu 1,8 GHz dan 2,1 GHz dengan menggunakan material Epoxy RF 4 pada substratnya dengan konstanta dielektrik 4,3 dan ketebalan materialnya 1,6 mm.

Antena juga memiliki spesifikasi yang perlu diperhatikan yaitu parameter yang harus memenuhi agar suatu antena dapat dikatakan layak untuk digunakan. Parameter tersebut antara lain *bandwidth*, *VSWR*, *Return Loss*, pola radiasi dan impedansi masukan. Masing masing memiliki spesifikasi seperti pada TABEL 3 berikut.

TABEL 3

Parameter dan Spesifikasi	Keterangan
Bentuk Patch	Rectangular S-Shaped
Frekuensi kerja	1,8 GHz dan 2,1 GHz
VSWR	<2
Return Loss	< -10 dB
Bandwidth	5-100 MHz
Impedansi	50 Ohm
Konstanta Dielektrik	4,3 bahan Epoxy RF 4
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm bahan Epoxy RF 4
Ketebalan Patch (t)	0,035 mm bahan Cooper
Pencatuan	Koaksial

C. Perhitungan Dimensi Antena

Sebelum melakukan simulasi, kita akan melakukan perhitungan dimensi patch dengan menggunakan persamaan yang sudah ada.

Diketahui

$$f_r = 1,8 \text{ GHz} = 1,8 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$\epsilon_r = 4,3$$

$$h = 1,6 \text{ mm}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Menentukan lebar patch antena (W_p)

$$W_p = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$W_p = 51,2 \text{ mm}$$

Menentukan panjang patch antena

$$L_p = L_{effp} - 2 \cdot \Delta L_p$$

Dimana untuk menghitung nilai panjang efektif patch antenna:

$$L_{effp} = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{r,eff}}}$$

Menghitung slot antena dual band

$$L_{slot} = \frac{\lambda_{eff}}{2}$$

$$\lambda_{eff} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 1 \cdot 10^9 \sqrt{4,059}}$$

$$\lambda_{eff} = 0,0709 = 70,9$$

$$L_{slot} = \frac{\lambda_{eff}}{2}$$

$$L_{slot} = \frac{70,9}{2} = 35,4$$

Untuk membentuk dua slot dengan panjang total masing-masing adalah 35,4 maka diperlukan masing masing 17,7 mm untuk dua slot yang sama.

Menentukan posisi pencatuan koaksial

$$X_f = \frac{L_p}{2}$$

$$Y_f = \frac{W_p}{2 \sqrt{\epsilon_{r,eff}}}$$

$$Y_f = \frac{51,2}{2 \sqrt{4,059}} = 12,704$$

Untuk panjang dan lebar ground antena menggunakan persamaan (8) dan (9).

$$L_g = 39,9 + 6(1,6)$$

$$L_g = 49,5 \text{ mm}$$

$$W_g = 51,2 + 6(1,6)$$

$$W_g = 60,8 \text{ mm}$$

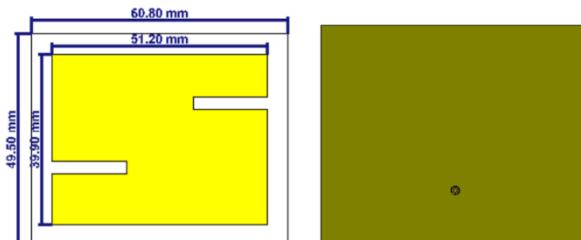
Hasil perhitungan dimensi disimpulkan pada TABEL 4 berikut ini.

TABEL 4

Dimensi	Keterangan (mm)
Lebar Patch (W _p)	51,2
Panjang Patch (L _p)	39,9
Lebar Ground (W _g)	60,8
Panjang Ground (L _g)	49,5
Posisi feed horizontal (X _f)	L _p /2
Posisi feed vertikal (Y _x)	12,704
Panjang Slot	17,7

D. Desain Simulasi Antena S-Shaped Sesuai Perhitungan

Untuk menentukan slot pada antena dual-band, single-band akan dibuat berdasarkan hasil perhitungan slot sebelumnya yaitu 17,7 mm dari dua sisi berlawanan dari ujung patch. Hasilnya akan ditampilkan seperti Gambar 3.6 berikut. Berdasarkan hasil perhitungan antena dual-band ini akan menghasilkan frekuensi resonansi pada dua frekuensi yang berbeda.

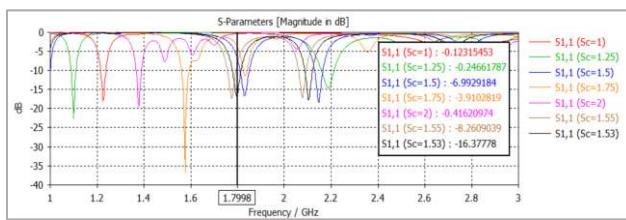


GAMBAR 4

Proses simulasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite 2019* menggunakan hasil perhitungan antena mikrostrip patch rectangular *single-band* seperti pada GAMBAR 4 di atas.

Dari hasil simulasi ini akan diperoleh sejumlah parameter penting seperti S-Parameter, bandwidth, VSWR, pola radiasi, polarasi dan polarisasi, yang selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja antena. Apabila hasil yang diperoleh dari simulasi awal belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, maka akan dilakukan proses optimasi desain guna memperoleh performa antena yang lebih sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

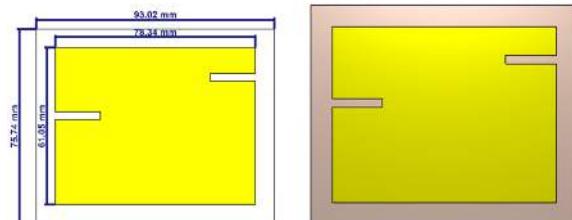
E. Desain Simulasi Antena S-Shaped Setelah Optimasi



GAMBAR 5

Dari hasil proses optimasi pada GAMBAR 5 diperoleh kesimpulan agar antena dapat beresonansi pada frekuensi *dual-band* 1.8 GHz dan 2.1 GHz dengan mempertimbangkan

nilai parameter *return loss* dan frekuensi resonansi maka dilakukan pembesaran dimensi antena sebesar 1.53 kali dari hasil perhitungan untuk frekuensi resonansi 1.8 GHz dan ukuran panjang slot atas dan bawah sesuai dengan hasil perhitungan yaitu 17.7 mm untuk memberi frekuensi resonansi tambahan pada frekuensi 2.1 GHz.



GAMBAR 6

Setelah melakukan proses optimasi maka diperoleh hasil desain akhir seperti yang diperlihatkan pada GAMBAR 6. Dari hasil simulasi desain di atas dapat kita bandingkan dengan hasil desain antena *dual-band* sebelumnya. Perbedaan utama adalah pada ukuran dimensi antena meliputi *patch* substrat dan *ground*.

F. Hasil Simulasi

TABEL 5

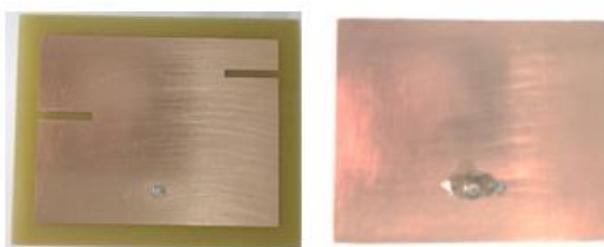
Parameter	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi	1.8 GHz	2.1 GHz
Frekuensi Resonansi	Band 1	Band 2	1.8 GHz	2.1 GHz
S11	-18.341	-11.022	-16.532	-16.349
Bandwidth (MHz)	22.9	44	36	32
PBW (%)	1.88	1.61	2	1.52
VSWR	1.276	1.78	1.351	1.358
Polarisasi	Non Linear	Non Linear	Linear	Linear

TABEL 5 menunjukkan hasil akhir dari proses simulasi dengan menambahkan slot S-Shaped sebelum di optimasi dan setelah di optimasi. Dari table tersebut diperoleh metode penambahan slot ini mampu meresonansikan dua frekuensi baik sebelum melakukan optimasi maupun setelah melakukan optimasi. Proses optimasi dibutuhkan agar frekuensi yang kita butuhkan dapat beresonansi dan memiliki *return loss* dibawah -10 dB sehingga. Dan pada percobaan simulasi setelah melakukan beberapa optimasi diperoleh frekuensi dual band yang beresonansi pada frekuensi 1,8 GHz dan 2.1 GHz dengan nilai *return loss* dibawah -10 dB dan nilai VSWR dibawah 2. Sehingga dari hasil optimasi setelah menambahkan metode S-Shaped antena ini siap untuk di fabrikasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Fabrikasi Antena

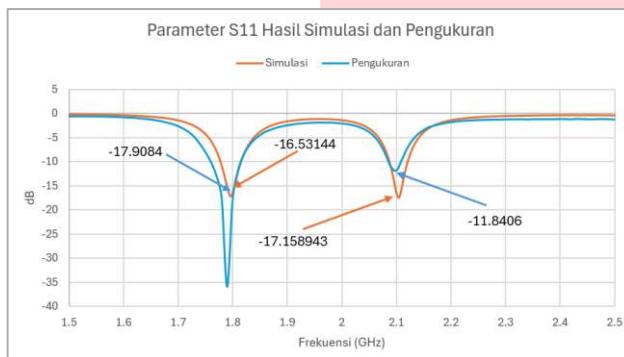
Antena hasil simulasi telah menemukan frekuensi resonansi yang sudah ditentukan sehingga selanjutnya adalah tahap fabrikasi antena. Hasil fabrikasi antena *dual-band* diperlihatkan pada GAMBAR 7 berikut ini.



GAMBAR 7

Dengan mempertimbangkan spesifikasi bahan dan dimensi antena serta parameter yang dipelukan. Tahap berikutnya adalah melakukan fabrikasi antena yang sudah di optimasi. Hasil fabrikasi kemudian di lakukan pengukuran parameter fisik antena yang telah di fabrikasi dan melakukan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil fabrikasi.

B. Hasil dan Analisis



GAMBAR 8

Dari grafik GAMBAR 8 di atas terlihat bahwa *S Parameter* (*S11*) hasil pengukuran telah memenuhi frekuensi *dual-band* pada antena yang di desain namun memiliki nilai *Return Loss* yang berbeda pada frekuensi masing-masing.

Pada frekuensi 1.8 GHz hasil simulasi, nilai *Return Loss* sebesar -16.53144 dan pada hasil pengukuran nilai *Return Loss* sebesar -17.9084 dengan demikian selisih perbedaan hasil pengukuran dan simulasi adalah 1.37 dB pada band frekuensi 1.8 GHz. Sementara pada band frekuensi 2.1 GHz nilai *Return Loss* pada hasil simulasi sebesar -17.158943 dan hasil fabrikasi -11.8406 sehingga selisih hasil pengukuran dan simulasi pada band 2.1 GHz sebesar 5.32 dB.

TABEL 6

Frekuensi Referensi	Hasil Simulasi (dB)	Hasil Pengukuran (dB)	Selisih (dB)
1.8 GHz	-17.9084	-16.5314	1.377
2.1 GHz	-11.8406	-16.1589	4.3183

Dari hasil perbandingan hasil simulasi dan pengukuran pada TABEL 6 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan maupun kesesuaian pada rentang frekuensi kerja antena. Nilai *bandwidth* yang di mana *Return Loss* berada di bawah -10 dB, baik pada hasil simulasi maupun hasil pengukuran. Rangkuman nilai *bandwidth* tersebut kemudian disajikan secara sistematis pada TABEL 7 berikut ini untuk memudahkan proses analisis dan evaluasi performa antena secara kuantitatif

TABEL 7

Band	Pengukuran			Simulasi			Selisih (MHz)
	F1 low (GHz)	F2 high (GHz)	BW (MHz)	F1 low (GHz)	F2 high (GHz)	BW (MHz)	
1	1.761	1.816	20	1.778	1.814	36	16
2	2.085	2.105	55	2.120	2.088	32	23

Dari hasil selisih bandwidth hasil simulasi dan pengukuran diperoleh nilai bandwidth yang berbeda. Pada frekuensi 1.8 GHz, bandwidth hasil simulasi sebesar 36 MHz sementara hasil pengukuran 20 MHz dengan selisih 16 MHz dan pada frekuensi 2.1 GHz hasil simulasi sebesar 32 MHz dan hasil fabrikasi sebesar 55 MHz. Diketahui penyebab perubahan bandwidth ini dikarenakan pergeseran frekuensi resonansi dan *return loss* yang sudah tak sama dengan hasil simulasi. Pergeseran ini telah dijelaskan pada penjelasan tabel sebelumnya yaitu karena adanya perubahan dimensi saat fabrikasi tidak sempurna karena toleransi material serta redaman pada saluran transmisi (kabel koaksial) saat melakukan pengukuran.

TABEL 8

Parameter	Simulasi		Pengukuran	
	1.8 GHz	2.1 GHz	1.8 GHz	2.1 GHz
Frekuensi Resonansi	1.8 GHz	2.1 GHz	1.8 GHz	2.1 GHz
S11	-16.532	-16.349	-12.368	-21.508
Bandwidth (MHz)	36	32	20	20
PBW (%)	2	1.52	1.0929	0.9345
VSWR	1.351	1.358	1.634	1.184
Pola radiasi	Direksional	Direksional	Direksional	Direksional
Polarisasi	Linear	Linear	Linear	Linear

Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena yang dirancang telah memenuhi spesifikasi teknis yang dibutuhkan sebagai antena penerima untuk menangkap sinyal RF yang dipancarkan oleh BTS. Dengan demikian, antena ini layak dan potensial untuk diaplikasikan dalam sistem RF *Energy Harvesting*, khususnya dalam pemanfaatan energi dari sinyal jaringan seluler sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan

V. KESIMPULAN

1. Hasil

Dari hasil penelitian dan seluruh tahapan yang telah dilakukan, mulai dari proses desain, simulasi, optimasi, fabrikasi, hingga pengukuran, dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil dari penelitian ini diperoleh parameter untuk spesifikasi antena antara lain *dual-band* dengan frekuensi referensi 1.8 GHz dan 2.1 GHz dengan *bandwidth* 20 MHz dan 55 MHz dan diperoleh nilai *return loss* -17.9084 dB dan -11.8406 dB dengan nilai VSWR kurang dari 2.
- Penelitian ini menggunakan metode slot *S-Shaped* untuk memberikan frekuensi resonansi tambahan dengan modifikasi penambahan slot pada patch antena dan melakukan proses optimasi untuk menghasilkan dua frekuensi yang beresonansi pada frekuensi 1.8 GHz dan 2.1 GHz.

- c. Metode *S-Shaped* digunakan untuk menerima radiasi dari *transmitter* yang memancarkan frekuensi referensi (1.8 GHz dan 2.1 GHz). Frekuensi *dual-band* ini bertujuan untuk menerima radiasi dari 2 frekuensi sehingga daya yang disalurkan pada energy harvesting lebih banyak.
- 2. Saran
 - Metode ini telah memenuhi spesifikasi untuk memperoleh nilai parameter antena yang sesuai dengan hasil
 - a. Metode penambahan slot *s-shaped* dapat digunakan untuk membentuk antena *dual-band* yang memenuhi spesifikasi return loss, VSWR, dan bandwidth sesuai aplikasinya. Namun Bandwidth ini mungkin sangat kecil untuk aplikasi antena jenis ultrawideband.
 - b. Penggunaan jenis substrat yang memiliki efisiensi radiasi yang lebih baik dari FR-4 seperti Roger atau Duroid akan memungkinkan untuk menerima daya yang lebih besar dari FR-4 dan akan mengurangi banyaknya rugi radiasi pada dimensi antena.
 - c. Hasil polarisasi antena dengan penambahan slot-s adalah liner, dimana pola radiasinya pada bidang E-plane maksimal meradiasikan ke depan.
 - d. Pola radiasi yang perlu di pertimbangkan adalah linier direksional lebih terarah dengan mengurangi bandwidth agar antena bisa memperoleh daya lebih besar untuk disalurkan

REFERENSI

- [1] M. Khafid, "Literature Study of Harvesting Energy With Resource Radio Frequency," *Indonesia Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 19-26, 2020.
- [2] Mutmainah, "S-Shaped Microstrip Antenna Design for 5 GHz Wifi," *AIP Conference Proceeding*, vol. 2663, no. 1, pp. 1-7, 2022.
- [3] E. Novrian, "Antenna Dual-Band Frekuensi 2.45 GHz dan 5.85 GHz untuk Aplikasi Telemedis," *e- Proceeding of Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 8970-8977, 2020.
- [4] M. Anthoni, "Perancangan dan Simulasi Antenna Mikrostrip MIMO 4x4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G," *Jurnal of Science and Applicative Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 372-382, 2021.
- [5] S. Buwarda, "Randang Bangun Multi Frekuensi Rectenna untuk Energy Harvesting," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 49-43, 2021.
- [6] S. Dase, Antena dan Propagasi, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2017.
- [7] S. Ariyanti, "Perbandingan Biaya Jaringan dan Kelakayak Teknologi LTE pada Frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, dan 2300 MHz untuk Mendukung Rencana Pita Lebar di Indonesia," *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 17, no. 1, pp. 17-30, 2019.
- [8] R. D. Amna, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Dual Band Patch Segi Empat pada Frekuensi 1.5 GHz dan 2.5 GHz," *Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, vol. 17, no. 1, pp. 1-8, 2020.
- [9] M. E. Septayadi, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang U Slot Proximity Coupled untuk Wifi 5.5 GHz," *e- Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 5328-5335, 2018.
- [10] S. Shelke, "Dual-Band Microstrip Patch Antenna for Wireless Application," *IJSRST*, vol. 2, no. 2, pp. 334-337, 2016.
- [11] Atik Charisma, Sahnizar Fauzia, "Metode Proximity Coupled pada Perancangan Antena Microstrip Persegi Panjang Peripheral Slits untuk WLAN", *Sinarint, Universitas Jenderal Achmad Yani*, Jul. 2022.
- [12] Dinh Khanh Ho, "A Novel Dual-Band Rectenna for Ambient RF Energy Harvesting at GSM 900 MHz and 1800 MHz", *ASTESJ* Vol.2, No.3. Juni 2017
- [13] Satyajit Chakrabarti, "Differentially Fed Shorted Triangular Patch Antenna With High Cross-Polar Discrimination and Patterns Symmetry", *IETE Journal of Research*, Vol.70, No. Issue 11, Juli 2024.
- [14] Aditya Singh, Surender Redhu, "Network-aware RF-Energy Harvesting for Designing Energy Efficiency IoT Network", *ELSEVIER*, Indian Institute of Technology Kanpur, 2022.
- [15] Muhammad Panji Kusuma Praja, "Bumbung Gelombang Lingkaran Susun untuk Aplikasi RF Energy Harvesting pada GSM 100 GHz", *Jurnal Fokus Elektroda*, Vol.06 No 02, 2021
- [16] Dalia Elsheakh, "Quand-Band Rectenna for RF Energy Harvesting System", *Jurnal of Electromagnetic Analys and Application*, ISSN:1942-0749. May 2020.
- [17] M. Sasuzzaman, "Inverted S-Shaped Compact Antenna for X-Band Application", *The Scientific World Journal*, Vol 2014 No.1, Mei 2014.
- [18] Surajo Muhammad, "Compact Rectifier Circuit Design for Harvesting GSM/900 Ambient Energy", *Jurnal Electronic*, Vol. 9 No.10, Oktober 2020.
- [19] Aaron M, Graham, "Practical Superdirective and Efficient Rectenna for Low Power RF Energy Harvesting". Queen's University Belfast, may, 2024.
- [20] Miaowang Zeng, "A compact Dual-Band Rectenna for GSM 1.800 Energy Harvesting", *International Jurnal of Antennas and Propagation*, Vol.2018, Issue 1, July 2018.