

RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP DUAL BAND PATCH SEGI EMPAT PADA FREKUENSI 1,5 GHz DAN 2,4 GHz

Ririna Daratul Amna¹, Ipan Suandi², Nasri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: ririnadaratul99@gmail.com¹, ipan@pnl.ac.id², nasrim7@gmail.com³

Abstrak –Antena mikrostrip dapat beroperasi dalam banyak *band* frekuensi atau *multi band*. Oleh sebab itu, antena ini banyak dikembangkan dalam bentuk dan pencatuannya. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pembuatan antena mikrostrip *dual band patch* segi empat yang bekerja pada frekuensi 1,5 GHz dan 2,4 GHz. Rancangan antena dibuat menggunakan bantuan software HFSS (*High Frequency Structure Simulator*), dan realisasi antena dibangun dari bahan PCB FR4 *epoxy double layer*, dengan dimensi antena 32 mm × 29 mm, konstanta dielektrik 4,4, dan ketebalan substrat 1,6 mm. Dengan menggunakan *patch* segi empat dan tambahan slit pada *patch*, maka antena ini menghasilkan *dual frequency*, yaitu pada 1,5 GHz dan 2,4 GHz. Dari hasil pengukuran antena pada 1,5 GHz diperoleh VSWR 1,70, *bandwidth* 39 MHz, dan gain 4,12, sedangkan hasil pengukuran antena pada 2,4 GHz diperoleh VSWR 1,45, *bandwidth* 156 MHz, dan gain 10,05.

Kata-kata kunci: antena, dual band, VSWR, bandwidth, gain, pola radiasi

I. PENDAHULUAN

Antena merupakan salah satu perangkat yang sangat penting pada sebuah sistem komunikasi nirkabel. Kualitas sebuah antena sangat mempengaruhi kualitas sinyal yang dipancarkan oleh pengirim, dan kualitas sinyal yang diterima oleh penerima. Oleh karena itu, antena harus dirancang dan dibuat sedemikian agar mendapatkan kualitas yang sangat baik dalam fungsi pengiriman dan penerimaan sinyal[1].

Kebutuhan teknologi dengan ukuran yang kecil, fleksibel, dan praktis merupakan salah satu faktor pendorong dibuatnya perangkat-perangkat yang berdimensi kecil tanpa harus mengurangi kualitas perangkat. Demikian halnya dengan teknologi antena yang dapat dibuat dalam ukuran yang kecil, yang disebut dengan antena mikrostrip[2].

Antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian utama, yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane* (bidang pentanahan). *Patch* berfungsi sebagai elemen peradiasi gelombang elektromagnetik yang terbuat dari lapisan logam dan memiliki ketebalan tertentu, sedangkan substrat merupakan bahan dielektrik yang berfungsi sebagai pembatas antara elemen peradiasi dan *ground plane*. Adapun *ground plane* terletak di bagian bawah antena yang berfungsi sebagai pentanahan, yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan[2].

Antena ini merupakan suatu bentuk antena yang dibuat dengan memanfaatkan prinsip dasar saluran transmisi mikrostrip, yaitu dengan cara mencetak elemen peradiasi, pada salah satu sisi permukaan substrat dielektrik, dan *ground plane* yang terdapat pada sisi lainnya[3].

Antena yang dapat bekerja pada dua frekuensi yang berbeda disebut dengan antena *dual band*. Antena jenis ini dapat beroperasi pada satu frekuensi saja, atau dua frekuensi bersamaan[4].

Penelitian terkait mengenai antena mikrostrip ini dilakukan oleh Reza Maulana Saputra, yang merancang sebuah antena mikrostrip menggunakan *patch* Hexagonal pada frekuensi 2,4 GHz, dengan hasil pengukuran *bandwidth* antena yang diperoleh sebesar 50 MHz, VSWR 1,15, dan *return loss* sebesar -23,1 dB[5].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pembuatan antena mikrostrip yang memiliki dual frequency, yaitu pada *band* 1,5 GHz dan 2,4 GHz. Bentuk *patch* antena yang dibuat adalah *patch* segi empat.

II. METODOLOGI

A. Struktur Rancangan Antena

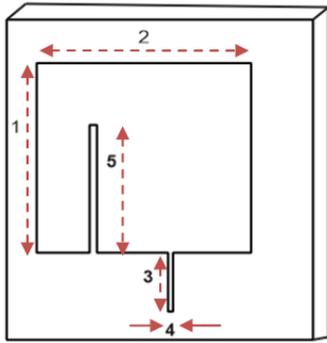
Dalam merancang antena mikrostrip *patch* segi empat ini, yang menjadi dasar perhitungan adalah :

1. Frekuensi Kerja (f) : 1,5 dan 2,4 GHz
2. Kecepatan cahaya (c) : 3×10^8 m/s
3. Jenis substrat : PCB FR4 Epoxy
4. Ketebalan substrat (h) : 1,6 mm
5. Konstanta dielektrik substrat (ϵ_r) : 4,4

Lapisan atas antena digunakan sebagai *patch* dan lapisan bawah digunakan untuk *ground plane*. Struktur dari antena mikrostrip *dual band patch* segi empat dapat dilihat pada Gambar 1.

Keterangan masing-masing nomor pada Gambar 1 tersebut adalah sebagai berikut[3]:

1. L_p : panjang *patch* antena
2. W_p : lebar *patch* antena
3. L_{feed} : panjang saluran pencatu antena
4. W_{feed} : lebar saluran pencatu antena
5. Tambahan Slit : beban yang ditambahkan untuk menghasilkan *dual band*



Gbr. 1 Struktur Rancangan Antena Mikrostrip Dual Band[3]

L_p dan W_p berfungsi sebagai elemen peradiasi yang terbuat dari bahan tembaga. L_p dan W_p dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2,

$$L_p = L_{effp} - 2 \cdot \Delta L_p \tag{1}$$

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

dengan L_p merupakan panjang *patch* antena (mm), L_{effp} merupakan panjang efektif *patch* antena (m), ΔL_p merupakan pertambahan panjang *patch* antena, c merupakan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), f_r merupakan frekuensi kerja antena (Hz), W_p merupakan lebar *patch* antena (m), dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik[3].

L_{effp} dapat dihitung menggunakan Persamaan 3,

$$L_{effp} = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{r\,eff}}} \tag{3}$$

dengan $\epsilon_{r\,eff}$ merupakan konstanta dielektrik efektif *patch* antena, dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 4,

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

dengan h merupakan ketebalan substrat (mm) dan w merupakan lebar saluran antena (mm)[3].

ΔL_p disebabkan oleh efek *fringing* yang muncul di sepanjang sisi tepi peradiasi, yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 5[3],

$$\Delta L_p = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{r\,eff} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r\,eff} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8 \right)} \tag{5}$$

L_{feed} dan W_{feed} juga terbuat dari bahan tembaga, yang masing-masing dapat dihitung menggunakan Persamaan 6 dan 7,

$$L_{feed} = \frac{1}{4} \lambda_d \tag{6}$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2} \left[\ln(B - 1) + 0,39 \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right] \right\} \tag{7}$$

dengan L_{feed} merupakan panjang saluran pencatu (m), λ_d merupakan panjang gelombang pada jarak tertentu (m), w merupakan lebar saluran pencatu, dan h merupakan ketebalan substrat[3]. Nilai λ_d dan B dapat dihitung menggunakan Persamaan 8 dan 9,

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{8}$$

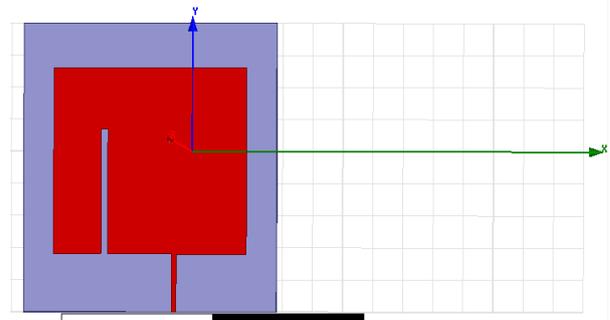
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{9}$$

dengan λ_0 merupakan panjang gelombang ($\lambda_0 = c/f_r$), dan Z_0 merupakan impedansi masukan (Ω)[3].

B. Model Antena dengan Ansoft HFSS

Perancangan antena dilakukan dengan menggunakan *software* HFSS. Keuntungan menggunakan *software* ini adalah dapat melakukan optimalisasi dari hasil desain antena dengan mengatur dimensi antena, sehingga didapatkan nilai VSWR yang diinginkan. Perancangan antena dilakukan dengan lima tahapan, yaitu perancangan *patch*, perancangan substrat, perancangan *ground plane*, perancangan saluran pencatu, dan perancangan port saluran pencatu (*wave port*)[6].

Lima tahapan yang dijalankan ini menghasilkan sebuah rancangan antena seperti pada Gambar 2.



Gbr. 2 Model Rancangan Antena Mikrostrip Dual Band

Nilai dimensi *patch* dan dimensi saluran pencatu menggunakan Ansoft HFSS, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1
Nilai Dimensi Patch dan Dimensi Saluran Pencatu

Dimensi Element Peradiasi		Dimensi Saluran Pencatu	
Panjang (L_p)	Lebar (W_p)	Panjang (L_{feed})	Lebar (W_{feed})
32 mm	29 mm	0,75 mm	10 mm

C. Fabrikasi Antena

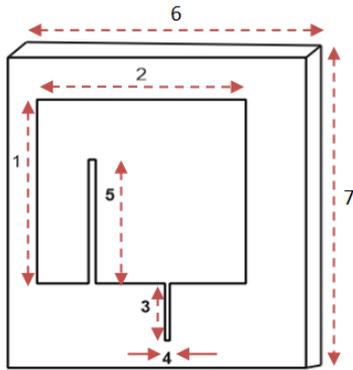
Dimensi Antena

Berdasarkan hasil di atas, maka dimensi rancangan fabrikasi antena yang dibuat seperti pada Gambar 3.

Alat dan Bahan Antena

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat antena ini adalah:

1. PCB dengan bahan substrat FR4 Epoxy dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga yang sudah dicetak
2. Konektor SMA
3. Solder dan timah



Keterangan:		
1. $L_p = 29$ mm	2. $W_p = 32$ mm	3. $L_{feed} = 10$ mm
4. $W_{feed} = 0,75$ mm	5. Slit = 19,74 mm	6. $L = 45$ mm
7. $W = 42$ mm		

Gbr. 3 Dimensi Rancangan Fabrikasi Antena

Pencetakan Pola Antena pada Substrat

Pola antena mikrostrip yang akan dicetak diatas PCB terlebih dahulu digambar. Selanjutnya dibuat layout pada PCB seperti pada Gambar 3, menyablon PCB sesuai pola yang telah dirancang, kemudian dikeringkan.

Proses Pelarutan (Etching)

Setelah pola antena mikrostrip dicetak, selanjutnya dilakukan proses pelarutan PCB dengan menggunakan Ferrite Chloride yang dicampur dengan air panas dalam suatu wadah. PCB yang sudah disablon, direndam dalam larutan tersebut hingga daerah yang tidak tersablon terangkat. Setelah langkah tersebut dilakukan, kemudian PCB dicuci dengan menggunakan air hangat dan menggosok bagian PCB yang tersablon dengan menggunakan amplas halus.

Pemasangan Konektor

Pada tahap pemasangan saluran dilakukan dengan menghubungkan konektor SMA dengan antena yang sudah jadi. Pemasangan konektor pada antena harus tepat di titik catunya, dengan menggunakan timah sebagai bahan perekat. Bentuk konektor SMA yang telah dipasang pada antena, seperti pada Gambar 4.



(a) (b)

Gbr. 4 Konektor SMA dipasang pada saluran catu

D. Pengukuran dan Perhitungan

Parameter yang diukur dan dihitung pada antena antara lain:

1. Pengukuran *return loss*
2. Pengukuran VSWR
3. Perhitungan *Bandwidth*
4. Pengukuran Pola Radiasi
5. Pengukuran Gain
6. Perhitungan Koefisien Pantul
7. Perhitungan Impendansi

Pengukuran parameter-parameter di atas dilakukan dengan menggunakan alat dan kelengkapan sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip yang telah dibuat 1 buah
2. Antena lain 2 buah
3. *Base Station Test Set* 1 unit
4. Kabel penghubung secukupnya

Pengukuran VSWR

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah perbandingan antara tegangan maksimum (E_{max}) dengan tegangan minimum (E_{min})[1]. VSWR dapat dihitung menggunakan Persamaan 10[4],

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{10}$$

dengan Γ merupakan koefisien pantul, yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan 11 atau 12[1],

$$\Gamma = \frac{v_r}{v_i} = \frac{z_1 - z_0}{z_1 + z_0} \tag{11}$$

atau

$$|\Gamma| = \log^{-1} \frac{RL}{20} \tag{12}$$

dengan v_r merupakan tegangan gelombang pantul, v_i merupakan tegangan gelombang maju, z_1 merupakan impedansi beban/antena, z_0 merupakan impedansi karakteristik saluran, dan RL merupakan *return loss*.

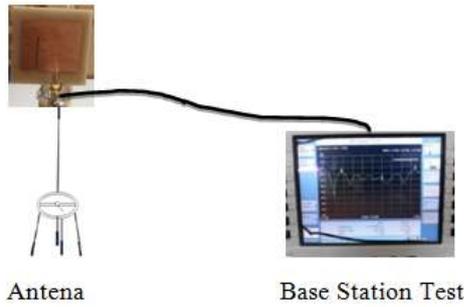
Nilai VSWR ideal adalah 1, yang berarti tidak ada pantulan ketika saluran dalam kondisi *match*. Namun kondisi ini pada umumnya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, nilai standar VSWR yang diizinkan untuk fabrikasi antena ≤ 2 . Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar, dan kondisi saluran semakin tidak *match*[7].

Pengukuran VSWR dilakukan dengan menggunakan *Base Station Test Set*, dengan set pengukuran seperti pada Gambar 5.

Perhitungan Bandwidth

Bandwidth antena dapat diketahui melalui nilai VSWR. Nilai *bandwidth* tergantung pada nilai VSWR yang masih berada dalam batas $1 \leq VSWR < 2$. Nilai *bandwidth* ditentukan dengan Persamaan 13,

$$BW = f_2 - f_1 \tag{13}$$



Gbr. 5 Pengukuran VSWR

Perhitungan Impedansi Antena

Perhitungan impedansi antena diketahui jika nilai VSWR telah didapatkan. Nilai impedansi dapat dihitung menggunakan Persamaan 11.

Pengukuran Gain

Pengukuran gain antena juga dapat dilakukan dengan pengukuran gain absolute (transmisi Friss), dengan menggunakan Persamaan 14,

$$G_1 + G_2 = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) \quad (14)$$

dengan G_1 merupakan gain absolute antena pengirim (dB), G_2 merupakan gain absolute antena penerima (dB), R merupakan jarak minimum antara antena pengirim dengan antena penerima (m), λ merupakan panjang gelombang (m), P_r merupakan daya terima (watt), dan P_t merupakan daya pancar (watt).

Berdasarkan Persamaan 14, maka gain antena dapat dihitung dengan menggunakan metode 3 antena, seperti pada Persamaan 15, 16, dan 17[1].

Kombinasi antena (1-2):

$$G_1 + G_2 = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{P_{r2}}{P_{t1}}\right) \quad (15)$$

Kombinasi antena (1-3):

$$G_1 + G_3 = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{P_{r3}}{P_{t1}}\right) \quad (16)$$

Kombinasi antena (2-3):

$$G_2 + G_3 = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{P_{r3}}{P_{t2}}\right) \quad (17)$$

Jarak antara antena pemancar dan penerima dapat dihitung menggunakan Persamaan 18[1],

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (18)$$

dengan D merupakan dimensi maksimal antena.

Nilai gain masing-masing antena dapat dihitung menggunakan Persamaan 19, 20, dan 21[1].

$$G_1 = \frac{1}{2} \cdot (A + B - C) \quad (19)$$

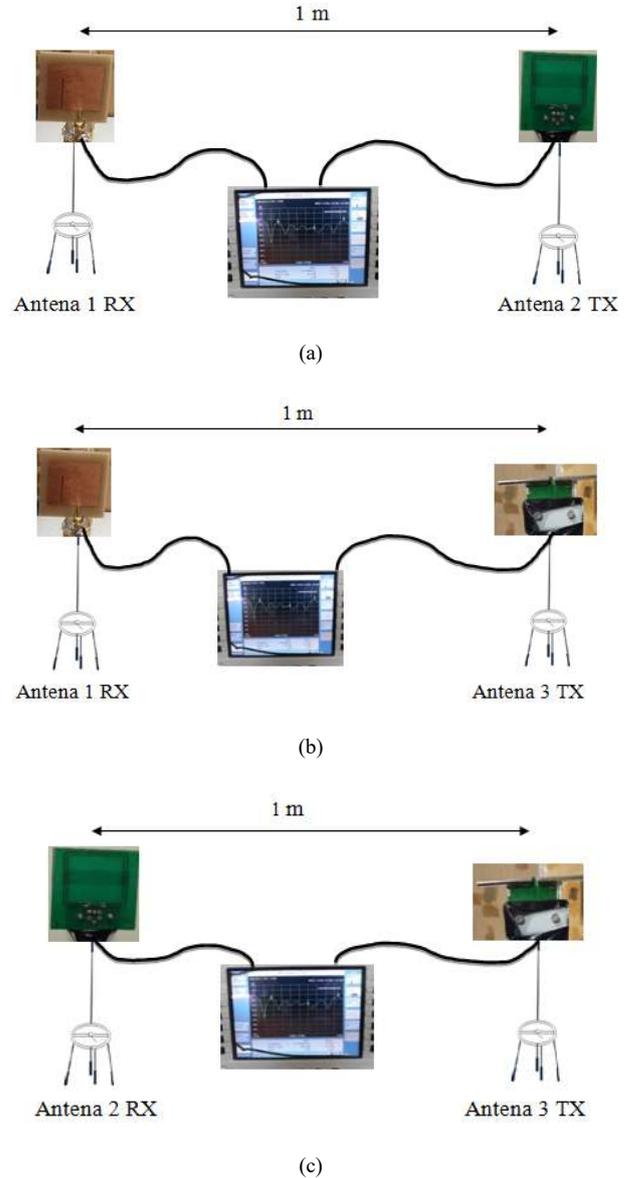
$$G_2 = \frac{1}{2} \cdot (A - B + C) \quad (20)$$

$$G_3 = \frac{1}{2} \cdot (-A + B + C) \quad (21)$$

Ketentuan pada pengukuran gain ini antara lain:

- Jarak antena : 1 m
- Frekuensi : 1,5 GHz dan 2,4 GHz
- λ : 0,125 m
- G_1 : Antena mikrostrip *dual band*
- G_2 : Antena *Loop*
- G_3 : Antena *Dipole* $\lambda/4$

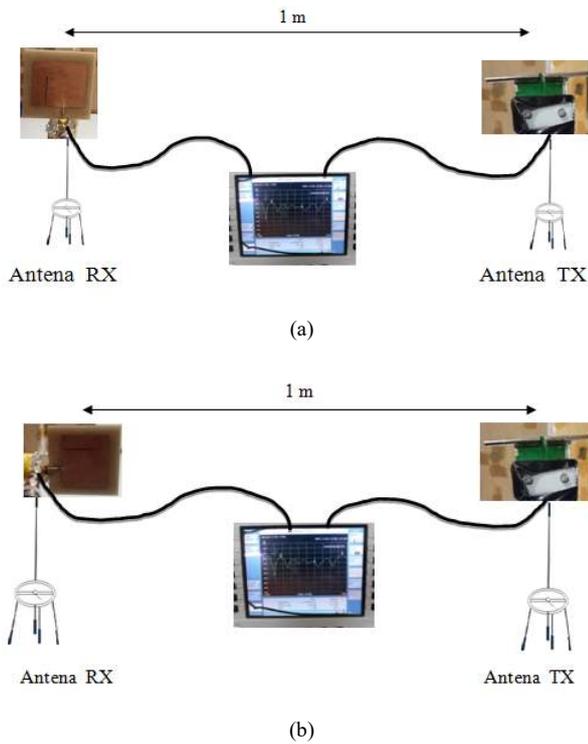
Pengukuran gain pada penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan metode 3 antena. Set pengukuran antena seperti pada Gambar 6.



Gbr. 6 Set Pengukuran Gain Antena:
 (a) Pengukuran Gain Antena 1 dan 2
 (b) Pengukuran Gain Antena 1 dan 3
 (c) Pengukuran Gain Antena 2 dan 3

Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran Pola Radiasi dilakukan secara horizontal dan vertikal. Set pengukuran pola Radiasi seperti pada Gambar 7.

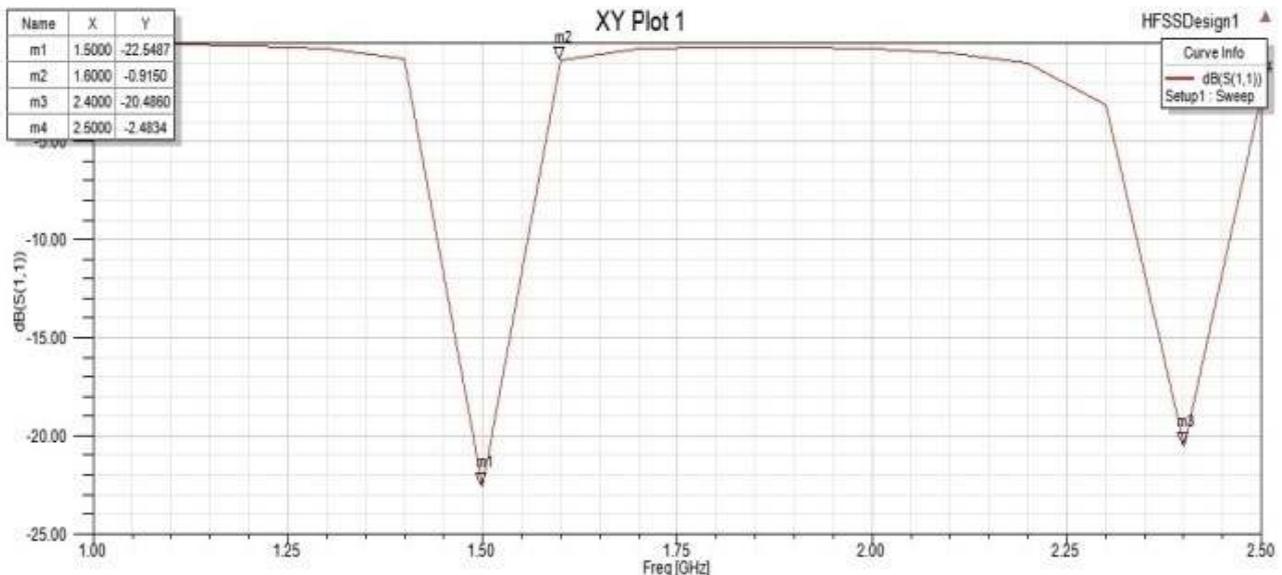


Gbr. 7 Set Pengukuran Pola Radiasi Antena:
 (a) Pengukuran Pola Radiasi Posisi Horizontal
 (b) Pengukuran Pola Radiasi Posisi Vertikal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Return Loss Simulasi

Gambar 8 adalah hasil simulasi *return loss* menggunakan HFSS. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa *return loss* diperoleh sebesar -22,54 dB pada frekuensi kerja 1,5 GHz, dan -20,48 dB pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Berdasarkan hasil simulasi ini, desain antenna mikrostrip *dual band* ini memiliki nilai *return loss* yang masih memenuhi parameter kerjanya, yaitu dibawah -10 dB.



Gbr. 8 Return Loss Simulasi menggunakan HFSS

B. VSWR Simulasi

Gambar 9 adalah hasil simulasi VSWR menggunakan HFSS. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa VSWR yang dihasilkan pada 1,5 GHz adalah 1,29, dan pada 2,4 GHz adalah 1,64. Kedua frekuensi memiliki VSWR yang masih memenuhi standar, yaitu $1 \leq VSWR < 2$.

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 dan 9, dapat ditentukan *bandwidth* antenna untuk kedua *band* frekuensi, yaitu:

1. Pada *band* 1,5 GHz,
 $BW = f_2 - f_1 = 1,502 \text{ GHz} - 1,497 \text{ GHz} = 5 \text{ MHz}$.
2. Pada *band* 2,4 GHz
 $BW = f_2 - f_1 = 2,402 \text{ GHz} - 2,397 \text{ GHz} = 5 \text{ MHz}$

Dari perhitungan di atas diperoleh *bandwidth* yang sama pada kedua *band* frekuensi, yaitu 5 MHz.

C. Gain dan Pola Radiasi Simulasi

Gain yang dihasilkan pada 0° adalah 18,53dB, dan gain yang dihasilkan pada 90° adalah 10,24 dB. Sementara bentuk Pola Radiasi seperti pada Gambar 10.

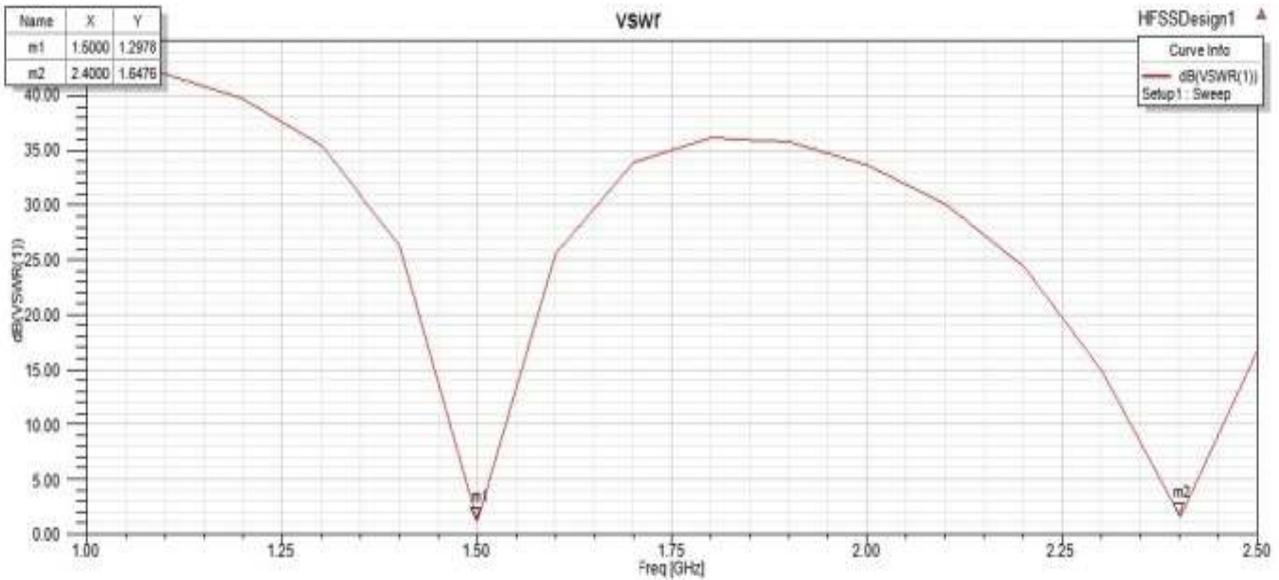
D. Hasil Pengukuran VSWR dan Perhitungan Bandwidth

Hasil pengukuran VSWR menggunakan Base Station Test seperti pada Tabel 2. Pada hasil tersebut dapat dilihat bahwa VSWR terbaik pada 1,503GHz, yaitu 1,7, dengan *return loss* 11,7.

Berdasarkan Tabel 2 ini, dapat ditentukan *bandwidth* pada *band* frekuensi 1,5 GHz, yaitu:

$$BW = f_2 - f_1 = 1,516 - 1,477 \text{ GHz} = 39 \text{ MHz}$$

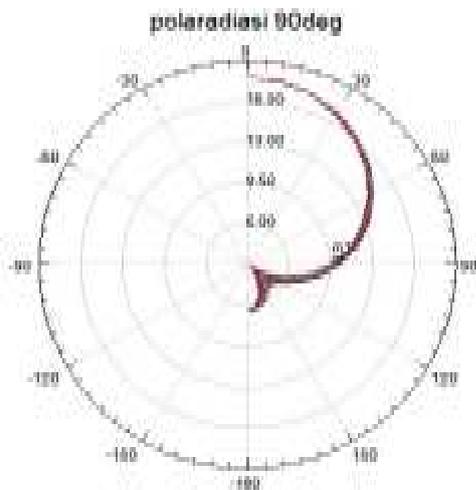
Sementara hasil pengukuran VSWR seperti pada Tabel 3. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa VSWR terbaik pada 2,4 GHz, yaitu 1,45, dengan *return loss* 14,8.



Gbr. 9 VSWR Antena Simulasi menggunakan HFSS



(a)



(b)

Gbr. 10 Pola Radiasi: (a) Posisi 0°; (b) Posisi 90°

Tabel II
Hasil Pengukuran VSWR pada 1,5 GHz

Frekuensi(GHz)	Return Loss (dB)	VSWR
1,45	8,4	2,23
1,460	8,8	2,14
1,473	9,3	2,05
1,481	9,9	1,94
1,490	10,9	1,80
1,503	11,7	1,70
1,512	10,9	1,80
1,520	9,2	2,06
1,533	7,0	2,61
1,542	6,0	3,00
1,550	5,3	3,05

Tabel III
Hasil Pengukuran VSWR pada 2,4 GHz

Frekuensi (GHz)	Return Loss(dB)	VSWR
2,353	11,2	1,76
2,361	13,0	1,59
2,370	14,8	1,44
2,383	16,2	1,36
2,392	15,8	1,39
2,400	14,8	1,45
2,413	13,5	1,54
2,422	13,8	1,51
2,430	14,5	1,47
2,443	16,8	1,34
2,452	1,71	1,32
2,461	1,57	1,39
2,474	12,5	1,62
2,482	11,1	1,78
2,491	10,2	1,90
2,5	10,1	1,93

Berdasarkan Tabel 3 dapat ditentukan *bandwidth* pada *band* frekuensi 2,4 GHz, yaitu:

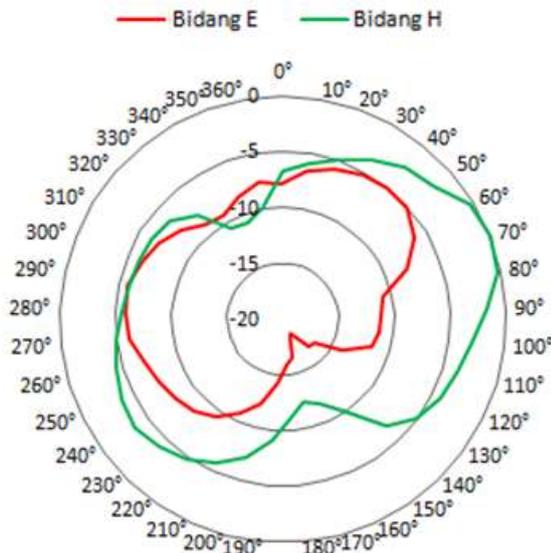
$$BW = f_2 - f_1 = 2,5 - 2,344 \text{ GHz} = 156 \text{ MHz.}$$

Penentuan nilai f_2 dan f_1 dari kedua perhitungan *bandwidth* di atas adalah frekuensi tertinggi dan terendah dengan nilai VSWR yang mendekati 2 dan mendekati 1, pada $1 \leq \text{VSWR} < 2$.

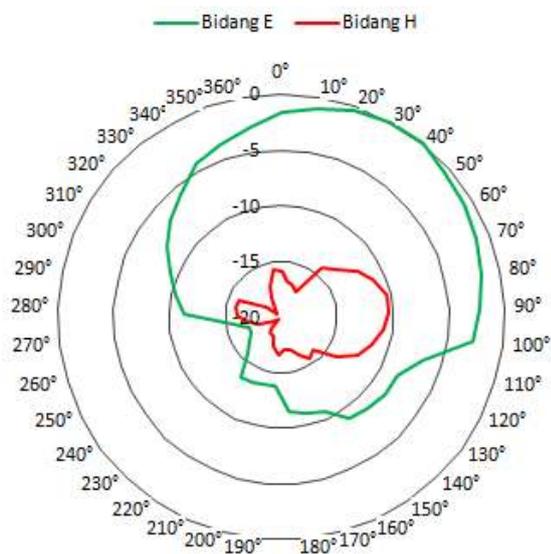
E. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang E dan H

Pola radiasi merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat radiasi antenna pada medan jauh sebagai fungsi arah. Arah yang dimaksud adalah dengan melakukan pemutaran antenna penerima dari posisi 0° sampai dengan 350°, pada bidang E dan bidang H.

Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh Pola Radiasi antenna pada 1,5 GHz dan 2,4 GHz, seperti pada Gambar 11 dan 12.



Gbr. 11 Pola Radiasi Bidang E dan H pada 1,5 GHz



Gbr. 12 Pola Radiasi Bidang E dan H pada 2,4 GHz

F. Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran gain dilakukan dengan menggunakan 3 buah antenna, yang bekerja pada frekuensi yang sama. Pengukuran ini dilakukan pada jarak 1 meter antara kedua antenna yang diukur. Hasil pengukuran gain pada frekuensi 1,5 GHz dan 2,4 GHz, seperti diperlihatkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel IV
Hasil Pengukuran Gain pada 1,5 GHz

Frekuensi (GHz)	G1+G2 (dB)	G1+G3 (dB)	G2+G3 (dB)
1,4	-35,1	-28,5	-29,4
1,45	-35,5	-29,8	-33,7
1,5	-32,2	-31,3	-31,7
1,55	-30	-35,6	-29,8
1,6	-34,0	-32,0	-29,1

Tabel V
Hasil Pengukuran Gain pada 2,4 GHz

Frekuensi (GHz)	G1+G2 (dB)	G1+G3 (dB)	G2+G3 (dB)
2,3	-30,9	-22,1	-29,0
2,35	-30,2	-25,8	-32,9
2,4	-28,1	-20,2	-28,4
2,45	-29,3	-23,2	-30,6
2,5	-31,2	-27,5	-35,1

Berdasarkan Tabel 4 dan 5, maka gain-masing-masing antenna seperti pada Tabel 6.

Tabel VI
Gain Antena Mikrostrip pada 1,5 GHz dan 2,4 GHz

Frekuensi(GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
1,5	4,12	3,72	4,62
2,4	10,05	1,85	9,75

Jika gain hasil pengukuran dibandingkan dengan gain hasil simulasi, maka dapat dilihat perbedaan yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh:

1. Kondisi ruang pengukuran yang masih belum standar, sehingga masih ada pantulan sinyal saat melakukan pengukuran.
2. Sensitivitas alat ukur yang digunakan dan perangkat pendukung lainnya.

G. Hasil Perhitungan Impedansi

Nilai koefisien pantul diperoleh berdasarkan nilai *return loss*, dihitung menggunakan Persamaan 12. Nilai koefisien pantul pada 1,5 GHz dan 2,4 GHz, seperti pada Tabel 7.

Tabel VII
Impedansi Antena pada 1,5 GHz dan 2,4 GHz

Frekuensi (GHz)	$ \Gamma $	Z_L
1,5	0,26	85,1 Ω
2,4	0,181	72,1 Ω

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan beban slit pada *patch* antena mikrostrip *dual band* yang dirancang dapat menghasilkan *dual band*, yaitu 1,5 GHz dan 2,4 GHz.
2. Pada 1,5 GHz diperoleh VSWR simulasi 1,29 dan VSWR pengukuran 1,70, sedangkan pada 2,4 GHz diperoleh VSWR simulasi 1,64 dan VSWR pengukuran 1,45.
3. *Bandwidth* diperoleh 39 MHz dengan *return loss* -11,7 dB pada band 1,5 GHz, dan 156 MHz dengan *return loss* -14,8 dB pada band 2,4 GHz.

REFERENSI

- [1] Balanis, Constantine A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*. Third Edition. New Jersey: Jhon Willey & Sons, Inc.
- [2] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., & Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House.
- [3] Kraush, Jhon Daniel. (1998). *Antennas*. New York: McGraw-Hill Internasional.
- [4] Kumar, G., & Ray, K. P. (2003). *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House.
- [5] Saputra, R.M. (2018). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Hexagonal pada Frekuensi 2,4 GHz. Lhokseumawe: Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknologi Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe. Karya tidak diterbitkan.
- [6] Nakar, P. S. (2004). Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for Use in Wireless/Cellular Devices. Retrieved from http://purl.flvc.org/fsu/fd/FSU_migr_etd-2790.
- [7] Yulindon, Firdaus. (2008). Teori dan Perencanaan Antena. Padang: Politeknik Negeri Padang.