

ANALISA PENGARUH UKURAN DIMENSI TERHADAP KARAKTERISTIK *STANDING WAVE RATIO* PADA *WAVEGUIDE* PERSEGI

Putri Silvira¹, Fakhrrur Razi², Rachmawati³

^{1,2,3} Prodi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: putriviraa12@gmail.com¹, fakhrrurrazi@pnl.ac.id², rachma@pnl.ac.id³

Abstrak –Komunikasi mikro gelombang memegang peran penting dalam jaringan komunikasi modern, dengan *waveguide* sebagai komponen kunci. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) merupakan parameter kritis yang menentukan kualitas transmisi dalam *waveguide*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dimensi *waveguide* terhadap karakteristik *Standing Wave Ratio* (SWR) pada *waveguide* persegi, dikarenakan pemahaman tentang hubungan spesifik antara perubahan dimensi *waveguide* dan karakteristik SWR masih terbatas. Penelitian ini menggunakan aplikasi HFSS (*High-Frequency Structure Simulator*) Ansys untuk mensimulasikan *waveguide* dengan berbagai variasi dimensi yaitu a (lebar *waveguide*), b (tinggi *waveguide*), t (ketebalan *waveguide*) dan ℓ (panjang *waveguide*) serta menganalisis dampaknya terhadap karakteristik SWR. Variasi dimensi a dan b menunjukkan ada pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai SWR. Pada ukuran dimensi a = 1,6 cm, SWR terbaik pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai SWR 1,007141 dan bernilai 1,001231 pada frekuensi yang sama untuk ukuran dimensi a = 1,8 cm. Pada ukuran dimensi a = 2 cm, SWR terbaik pada frekuensi 10,5 GHz dengan nilai SWR 1,006239. Sementara itu, untuk ukuran dimensi b = 1,6 cm dan b = 1,8 cm, nilai SWR terbaik terjadi pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai masing-masing 1,007141 dan 1,000073. Pada ukuran dimensi b = 2 cm, SWR terbaik pada frekuensi 11,9 GHz dengan nilai SWR 1,001422. Hal ini menunjukkan dimensi yang lebih besar cenderung menghasilkan SWR yang lebih baik pada frekuensi yang lebih rendah. Perubahan dimensi t dan ℓ tidak menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antara dimensi *waveguide* dan SWR, yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan kinerja *waveguide* dalam sistem komunikasi mikro gelombang.

Kata-kata kunci: *Waveguide*, SWR, Dimensi, HFSS

I. PENDAHULUAN

Dalam era teknologi informasi modern, *waveguide* memegang peran krusial dalam sistem komunikasi mikrogelombang. *Standing Wave Ratio* (SWR) merupakan parameter penting yang menunjukkan kualitas transmisi dalam *waveguide*, dengan nilai rendah mengindikasikan transmisi yang baik. Dimensi *waveguide*, meliputi lebar, tinggi, ketebalan, dan panjang, secara signifikan mempengaruhi SWR dan karakteristik gelombang yang merambat di dalamnya. Namun, pemahaman mendetail tentang hubungan spesifik antara dimensi *waveguide* dan SWR masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi dimensi *waveguide* terhadap SWR menggunakan simulasi komputer HFSS (*High-Frequency Structure Simulator*) Ansys. Parameter yang dianalisa adalah VSWR. Melalui eksplorasi berbagai skenario dimensi, studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan komprehensif tentang pengaruh ukuran dimensi *waveguide* terhadap karakteristik SWR pada *waveguide* persegi.

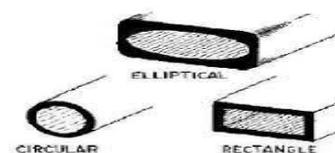
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian *Waveguide*

Waveguide adalah saluran tunggal yang berfungsi untuk menghantarkan gelombang elektromagnetik (*microwave*) dengan frekuensi 300 MHz – 300 GHz. Dalam kenyataannya, *waveguide* merupakan media

transmisi yang berfungsi memandu gelombang pada arah tertentu. Dibandingkan dengan kabel koaksial, *waveguide* dapat menghantarkan energi gelombang mikro dengan tingkat loss yang lebih rendah. Oleh karena itu, *waveguide* banyak digunakan dalam komunikasi gelombang mikro, radar, dan berbagai aplikasi frekuensi tinggi lainnya.

Waveguide merupakan konduktor logam berongga, biasanya terbuat dari kuningan atau aluminium, dengan penampang persegi panjang atau lingkaran. Fungsinya sebagai pemandu gelombang untuk mentransfer sinyal dari satu subsistem ke subsistem lain. Di dalam *waveguide*, biasanya berisi udara yang memiliki karakteristik mendekati ruang bebas. Hal ini menyebabkan beberapa sifat khusus pada medan elektromagnetik di *waveguide* yaitu medan listrik (E) di dalam *waveguide* harus ada, tetapi harus nol pada permukaan dinding dan tegak lurus terhadapnya, sedangkan medan magnetik (H) harus sejajar dengan permukaan dinding *waveguide* [1].

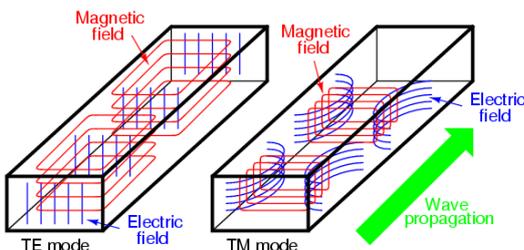


Gbr.1 Jenis-jenis *Waveguide* [2]

Secara bentuk geometri, terdapat tiga jenis *waveguide*: *rectangular waveguide* (*waveguide* dengan penampang persegi), *circular waveguide* (*waveguide* dengan penampang lingkaran) dan *ellips waveguide* (*waveguide* dengan penampang ellips).

B. Mode Rambatan dan Dimensi *Waveguide*

Waveguide umumnya memiliki dimensi yang besar di ketiga dimensinya. Pada *waveguide rectangular*, terdapat dua mode utama yaitu: mode TE, gelombang transversal elektrik (medan listrik memiliki komponen transversal, medan magnet sejajar dengan sumbu z) dan mode TM, gelombang transversal magnetis (medan magnet memiliki komponen transversal, medan listrik sejajar dengan sumbu z) [3].



Magnetic flux lines appear as continuous loops
Electric flux lines appear with beginning and end points

Gbr. 2 Ilustrasi mode pada *Waveguide* [4]

- Mode Transversal Elektrik (TE)

Pada mode Transversal Elektrik (TE), seluruh medan listrik bersifat transversal terhadap arah propagasi gelombang, yang berarti nilai $E_z = 0$. Namun, pada mode ini terdapat medan magnetik yang longitudinal (sejajar) dengan arah propagasi, yang berarti nilai $E_z = 0$ dan $H_z \neq 0$ [5].

Mode TE yang tersedia meliputi TE₁₀, TE₀₁, TE₁₁, TE₂₀, TE₀₂, TE₂₁, TE₁₂, TE₂₂, dan TE₃₀. Dimensi umum dari *waveguide* rectangular adalah $a = 2b$. Mode yang dianggap dominan dalam *waveguide rectangular* adalah mode TE₁₀. Tabel 1 menunjukkan berbagai mode untuk *waveguide* persegi panjang dengan panjang gelombang *cutoff*. Jika gelombang yang merambat dalam *waveguide* memiliki panjang gelombang yang lebih besar dari panjang gelombang *cutoff*, maka gelombang tersebut tidak akan dapat ditransmisikan melalui saluran *waveguide*.

TABEL 1

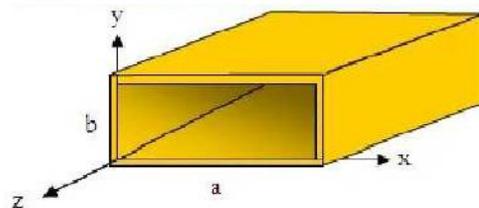
Tabel Gelombang *Cutoff* untuk berbagai mode *waveguide rectangular*

Mode	λ_c (m)	Keterangan
TE ₁₀	2a	Dua kali dimensi panjang
TE ₁₁ atau TM ₁₁	$\frac{2}{\sqrt{a^2 + b^2}}$	
TE ₂₀	a	
TE ₀₁	2b	
TE _{m,n} atau TM _{m,n}	$\frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2}}$	Persamaan umum

- Mode Transversal Magnetik (TM)

Pada mode Transversal Magnetik (TM), seluruh medan magnetik bersifat transversal terhadap arah rambat gelombang, yang berarti nilai $E_z = 0$ dan $H_z = 0$. Bilangan gelombang *cutoff*, yang dilambangkan dengan k_c , memainkan peran penting dalam menentukan mode mana yang dapat merambat dalam pemandu gelombang [5].

Umumnya, *waveguide* direpresentasikan dengan menggunakan sistem koordinat *Cartesian*. Dalam Gambar 2.3, terlihat dimensi dari sebuah *waveguide*. Arah perambatan gelombang disepakati mengikuti arah negatif sumbu-z (-z). Bidang horizontal sejajar dengan sumbu-x dan bidang vertikal sejajar dengan sumbu-y dalam koordinat *Cartesian*.

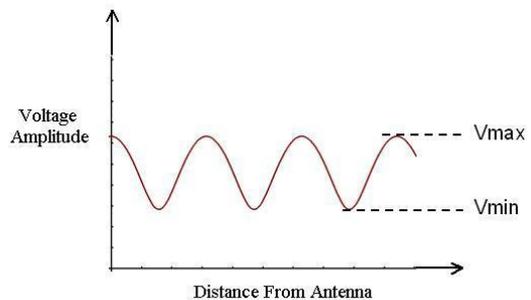


Gbr. 3 Dimensi standar *waveguide* dalam koordinat *Cartesian* [4]

C. Standing Wave Ratio (SWR)

Standing Wave Ratio (SWR) atau sering disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) merupakan sebuah nilai yang menunjukkan seberapa baik kecocokan impedansi antara input saluran transmisi dengan impedansi karakteristik saluran itu sendiri. Nilai VSWR dihitung dengan membandingkan tegangan maksimum (E_{max}) dengan tegangan minimum (E_{min}) di sepanjang saluran transmisi.

Semakin rendah nilai VSWR, semakin baik kecocokan impedansinya. Hal ini berarti energi gelombang dapat ditransfer secara efisien melalui saluran transmisi dengan sedikit refleksi. Sebaliknya, semakin tinggi nilai VSWR, semakin buruk kecocokan impedansinya, sehingga energi gelombang akan mengalami banyak refleksi di dalam saluran transmisi [6].



Gbr. 4 *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) [6]

Nilai VSWR dapat berkisar dari 1 (kecocokan sempurna) hingga tak terbatas. Namun, umumnya nilai VSWR yang dianggap baik adalah 2 atau kurang. Semakin tinggi nilai VSWR, semakin banyak daya yang hilang dalam saluran transmisi, berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan atau sistem

yang digunakan. VSWR adalah derajat kuantitas dari ketidaksesuaian impedansi dalam sistem yang di simbolkan dengan huruf S (atau SWR) yang dinyatakan [7]:

$$SWR = \frac{V_{min}}{V_{max}} \tag{1}$$

Dari persamaan di atas besarnya koefisien pantul (Γ) menentukan besarnya VSWR, Persamaan untuk koefisien pantul adalah:

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} \tag{2}$$

dimana :

V_i = tegangan gelombang yang datang ke beban

V_r = tegangan gelombang pantulan dari arah beban

Sehingga:

$$V_{max} = V_i + V_r = V_i(1 + \Gamma) \tag{3}$$

$$V_{min} = V_i - V_r = V_i(1 - \Gamma) \tag{4}$$

$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \tag{5}$$

$$\Gamma = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \tag{6}$$

Nilai Γ dihitung dengan membandingkan tegangan gelombang pantul (V_r) dengan tegangan gelombang maju (V_i), impedansi beban (Z_l), dan impedansi karakteristik saluran (Z_0). Kondisi ideal terjadi ketika VSWR bernilai 1, yang menandakan tidak ada refleksi dan saluran dalam keadaan "matching sempurna".

Tabel I memperlihatkan sebuah panduan yang memperlihatkan hubungan antara VSWR, koefisien pantulan Γ dan daya yang dipantulkan akibat ketidaksesuaian (mismatch) antara impedansi karakteristik saluran dengan impedansi beban.

TABEL II
Hubungan antara VSWR, Koefisien Pantul, dan Daya yang dipantulkan [4]

VSWR	Koefisien pantulan (Γ)	% daya yang dipantulkan	Keterangan
1,0	0	0	Sistem 'matched' (sangat sempurna)
1,05	0,048	0,22	'Match' sangat baik
1,5	0,2	4,0	Masih dapat diterima
2,0	0,33	11,1	Match sangat buruk, tidak dapat diterima
5,0	0,67	44,4	Sangat tidak mungkin digunakan

D. High-Frequency Structure Simulator (HFSS)

High-Frequency Structure Simulator (HFSS) Ansys adalah sebuah perangkat lunak simulasi frekuensi tinggi terintegrasi dalam AEDT (*Ansys Electronics Desktop*), dirancang khusus untuk desain dan analisis komponen elektromagnetik frekuensi tinggi. HFSS menyediakan berbagai macam laporan, mulai dari plot persegi panjang 2D hingga plot bidang 3D di dalam geometri kompleks, yang membantu para pengguna dalam memahami konsep elektromagnetik secara mendalam.

III. METODOLOGI

A. Fungsional dan Struktural Alat dan Sistem

Penelitian ini menggunakan perangkat keras (laptop) dan perangkat lunak (HFSS Ansys). HFSS Ansys digunakan untuk mensimulasikan waveguide dengan variasi dimensi. Kombinasi alat ini bertujuan mengumpulkan data dan menghasilkan hasil penelitian yang komprehensif.

B. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data didapatkan setelah dilakukan simulasi waveguide dengan aplikasi HFSS Ansys, dimana peneliti melakukan penelitian terhadap bagaimana pengaruh dimensi waveguide terhadap karakteristik SWR. Parameter data yang akan di analisa adalah VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi waveguide dengan parameter simulasinya adalah dimensi a (lebar waveguide), dimensi b (tinggi waveguide), dimensi t (ketebalan waveguide) dan dimensi l (panjang waveguide) yang divariasikan.

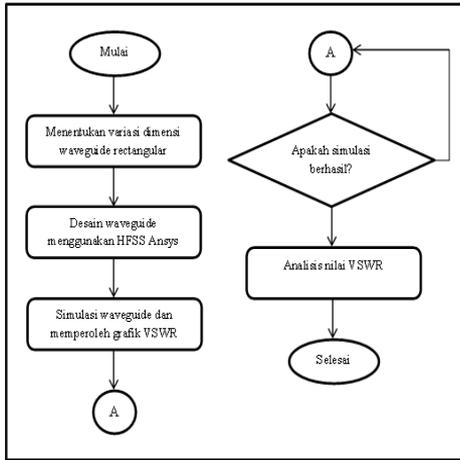
C. Teknik Pengolahan Data

Untuk melakukan pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan dua cara antara lain:

1. Pengolahan data menggunakan metode tabulasi. Data yang diolah dalam bentuk tabulasi dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk informasi.
2. Data-data hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik.

D. Metode Simulasi

Metode simulasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan proses yang telah diilustrasikan pada diagram alir pada Gambar 5.



Tahapan ini dilakukan dengan simulasi menggunakan aplikasi HFSS Ansys. Simulasi dimulai dengan menentukan variasi dimensi *waveguide* yang akan dibuat yaitu variable a (lebar), b (tinggi), t (ketebalan), dan ℓ (panjang) dari *waveguide*.

Untuk menentukan variasi dimensinya perlu diketahui bahwa konsep *waveguide* adalah seperti *high pass filter*, yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi cutoff-nya. Sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi cutoff tidak dapat merambat melalui *waveguide* ($f_c > f$). Dalam penelitian ini menggunakan mode dominan TE₁₀ atau TE₀₁ maka $\lambda_c = 2a$ atau $\lambda_c = 2b$ dan frekuensi tetap 10 GHz maka:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{7}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^{10}}{10^{10}} = 3 \text{ cm}$$

Didapatkan $\lambda = 3 \text{ cm}$, maka $\lambda_c < 3 \text{ cm}$.

$$\lambda_c = 2a$$

a = 1,5 cm, maka ukuran dimensi a minimum adalah 1,5 cm.

Jika a = 1,5 cm, maka

$$\lambda_c = 2a = 2(1,5 \text{ cm}) = 3 \text{ cm}$$

$$f_c = \frac{3 \times 10^{10}}{3} = 10 \text{ GHz (hasil menunjukkan } f_c = f)$$

Jika $f \geq f_c$ maka $\lambda \leq \lambda_c$ dengan asumsi *waveguide* dominan TE₁₀ atau TE₀₁. Oleh sebab itu, peneliti akan menggunakan variasi dimensi a dan b lebih besar dari 1,5 cm agar kondisi tersebut dapat terpenuhi. Variasi dimensi a dan b yang akan peneliti gunakan adalah 1,6 cm, 1,8 cm, dan 2 cm. Perhitungan panjang gelombang cut off dan frekuensi cut off sebagai berikut:

- a = 1,6 cm
 $\lambda_c = 2a = 2(1,6 \text{ cm}) = 3,2 \text{ cm}$ (kondisi memenuhi $\lambda \leq \lambda_c$)
 $f_c = \frac{3 \times 10^{10}}{3,2} = 9,37 \text{ GHz}$ (kondisi memenuhi $f \geq f_c$)

- a = 1,8 cm
 $\lambda_c = 2a = 2(1,8 \text{ cm}) = 3,6 \text{ cm}$ (kondisi memenuhi

$$\lambda \leq \lambda_c)$$

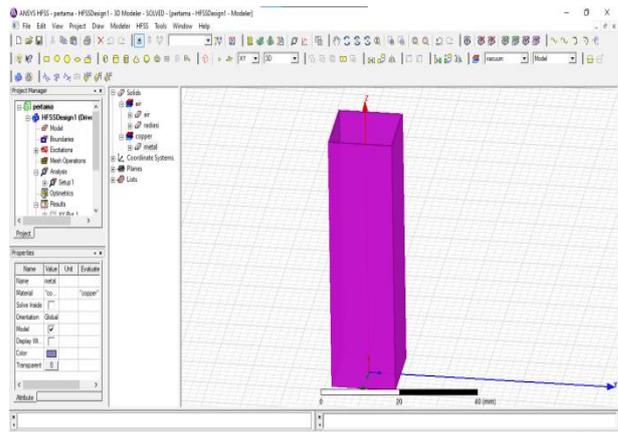
$$f_c = \frac{3 \times 10^{10}}{3,6} = 8,33 \text{ GHz (kondisi memenuhi } f \geq f_c)$$

- a = 2 cm
 $\lambda_c = 2a = 2(2 \text{ cm}) = 4 \text{ cm}$ (kondisi memenuhi $\lambda \leq \lambda_c$)
 $f_c = \frac{3 \times 10^{10}}{4} = 7,5 \text{ GHz}$ (kondisi memenuhi $f \geq f_c$)

Pengujian dilakukan dengan merancang *waveguide* pada aplikasi HFSS Ansys dengan variasi dimensi yang telah ditentukan. Langkah pertama adalah membuat proyek baru dengan memilih Project > Insert HFSS Design. Selanjutnya, buat objek kubus yang otomatis dinamai box1, dan atur propertinya dengan mengklik dua kali createbox untuk mengatur dimensi dan posisi objek. Setelah melakukan pengaturan ini, hasil dari pengaturan objek akan muncul, dan jika objek terlalu besar, dapat disesuaikan tampilannya dengan menggeser dua jari pada touchpad.

Langkah berikutnya adalah membuat salinan dari objek box1 dengan menekan Ctrl + c dan Ctrl + v, yang secara otomatis dinamai box2. Kemudian, atur properti box2 sebagai material tembaga (metal) dan buat lubang pada *waveguide* dengan menggunakan operasi subtract yang mengurangi metal-box1.

Selanjutnya, buat jalur radiasi gelombang dengan mengcopy objek box1 dan mengubahnya menjadi objek air. Kemudian, buat medan radiasi dengan menyalin objek air dan mengubah namanya menjadi radiasi. Buat jalur radiasi dengan mengatur jalan masuk dan keluar radiasi serta menentukan frekuensi operasi 9,5 GHz hingga 14,5 GHz.



Gbr. 6 Hasil Objek Simulasi

Setelah melakukan semua pengaturan, simulasi dilakukan dengan menekan icon validate untuk memeriksa kesalahan pada proyek. Jika tidak ada kesalahan, simpan proyek dan jalankan simulasi dengan menekan icon analyze all. Setelah simulasi selesai, hasilnya dapat dilihat dengan memilih create modal solution data report > rectangular plot pada result, dan dapat mengatur category VSWR untuk melihat nilai VSWR pada berbagai frekuensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Variasi Pengujian

Tabel berikut menyajikan variasi dimensi waveguide yang akan diuji, meliputi lebar (a), tinggi (b), ketebalan (t), dan panjang (ℓ). Tujuannya adalah mengeksplorasi pengaruh dimensi terhadap karakteristik VSWR.

TABEL III
Variasi Nilai Pengujian Ukuran Dimensi a pada Waveguide

Dimensi a (lebar waveguide)	Dimensi b (tinggi waveguide)	Dimensi t (ketebalan waveguide)	Dimensi ℓ (panjang waveguide)
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm
1,8 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm
2 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm

TABEL IV
Variasi Nilai Pengujian Ukuran Dimensi b pada Waveguide

Dimensi a (lebar waveguide)	Dimensi b (tinggi waveguide)	Dimensi t (ketebalan waveguide)	Dimensi ℓ (panjang waveguide)
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm
1,6 cm	1,8 cm	0,03 cm	5 cm
1,6 cm	2 cm	0,03 cm	5 cm

TABEL V
Variasi Nilai Pengujian Ukuran Dimensi t pada Waveguide

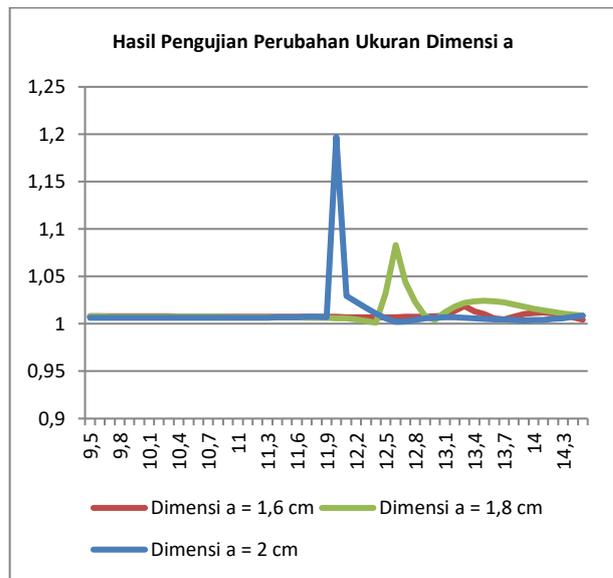
Dimensi a (lebar waveguide)	Dimensi b (tinggi waveguide)	Dimensi t (ketebalan waveguide)	Dimensi ℓ (panjang waveguide)
1,6 cm	1,6 cm	0,01 cm	5 cm
1,6 cm	1,6 cm	0,02 cm	5 cm
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm

TABEL VI
Variasi Nilai Pengujian Ukuran Dimensi ℓ pada Waveguide

Dimensi a (lebar waveguide)	Dimensi b (tinggi waveguide)	Dimensi t (ketebalan waveguide)	Dimensi ℓ (panjang waveguide)
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	5 cm
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	6 cm
1,6 cm	1,6 cm	0,03 cm	7 cm

B. Hasil Simulasi dan Analisis

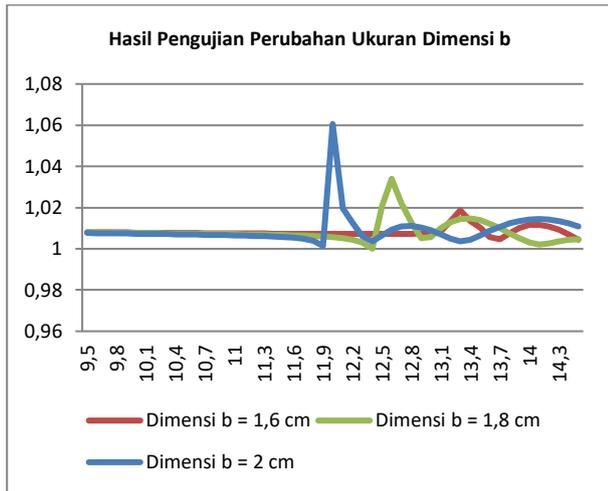
1. Pengujian Pengaruh Perubahan Dimensi a (lebar waveguide)



Gbr. 7 Grafik Hasil Simulasi Perubahan Dimensi a

Pada dimensi a = 1,6 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 13,1 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 12,4 GHz yaitu 1.007141. Pada dimensi a = 1,8 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik bergeser menjadi 9,5 GHz hingga 12,4 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 12,4 yaitu 1,001231. Pada dimensi a = 2 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik bergeser lebih rendah lagi, yaitu 9,5 GHz hingga 11,7 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 10,5 GHz yaitu 1,006239. Kemudian, pada dimensi a = 1,6 cm, titik kritis terjadi di sekitar 13,3 GHz. Pada dimensi a = 1,8 cm, titik kritis bergeser ke frekuensi yang lebih rendah, yaitu 12,6 GHz. Pada dimensi a = 2 cm, terdapat puncak nilai VSWR yang sangat tinggi pada frekuensi yang lebih rendah lagi, yaitu 12,0 GHz.

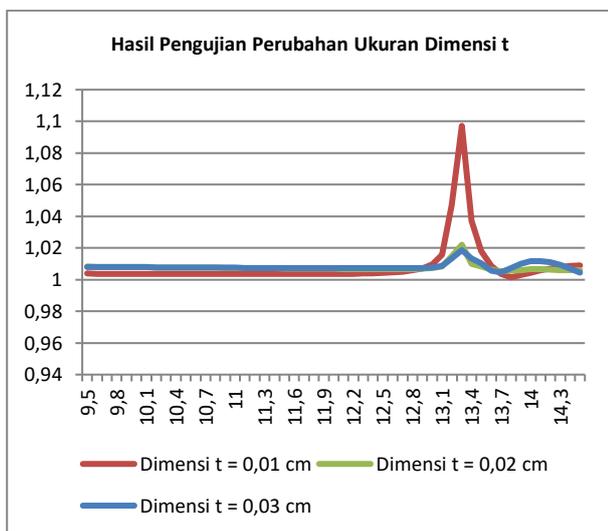
2. Pengujian Pengaruh Perubahan Dimensi b (tinggi *waveguide*)



Gbr. 8 Grafik Hasil Simulasi Perubahan Dimensi b

Pada dimensi b = 1,6 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 13,1 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 12,4 GHz yaitu 1.007141. Pada dimensi b = 1,8 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik sedikit bergeser ke frekuensi yang lebih rendah, yaitu 9,5 GHz hingga 12,4 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 12,4 GHz yaitu 1,000073. Pada dimensi b = 2,0 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik bergeser lebih rendah lagi, yaitu 9,5 GHz hingga 11,9 GHz dengan nilai SWR terbaik pada frekuensi 11,9 GHz yaitu 1,001422. Kemudian pada dimensi b = 1,6 cm, titik kritis terjadi di sekitar 13,3 GHz. Pada dimensi b = 1,8 cm, titik kritis bergeser ke frekuensi yang lebih rendah, yaitu 12,6 GHz. Pada dimensi b = 2,0 cm, terdapat puncak nilai VSWR yang sangat tinggi pada frekuensi yang lebih rendah lagi, yaitu 12,0 GHz.

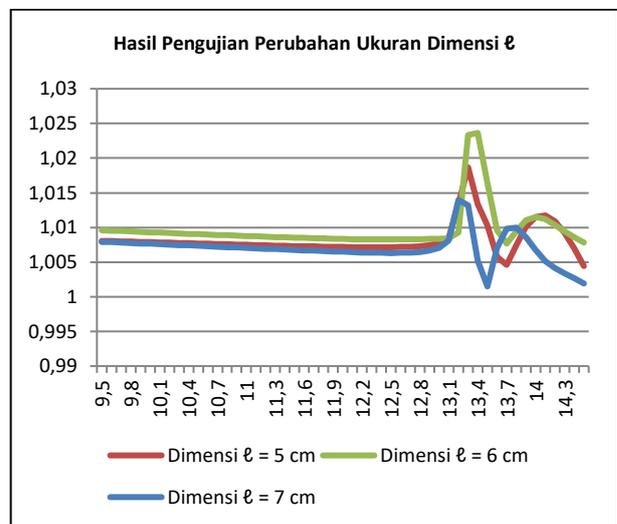
3. Pengujian Pengaruh Perubahan Dimensi t (ketebalan *waveguide*)



Gbr. 9 Grafik Hasil Simulasi Perubahan Dimensi t

Pada dimensi t = 0,01 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 12,8 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 12,4 GHz yaitu 1,003 hingga 1,004. Terjadi penurunan kinerja yang signifikan pada rentang 12,9 GHz hingga 13,4 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,097186 pada frekuensi 13,3 GHz. Pada dimensi t = 0,02 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 12,8 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 12,8 GHz yaitu 1,007 hingga 1,008. Terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan pada rentang 12,9 GHz hingga 13,4 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,022062 pada frekuensi 13,3 GHz. Pada dimensi t = 0,03 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 13,1 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 13,1 GHz yaitu 1,007 hingga 1,008. Terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan pada rentang 13,2 GHz hingga 13,5 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,018671 pada frekuensi 13,3 GHz.

4. Pengujian Pengaruh Perubahan Dimensi ℓ (panjang *waveguide*)



Gbr. 10 Grafik Hasil Simulasi Perubahan Dimensi ℓ

Pada dimensi ℓ = 5 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 13,1 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 13,1 GHz yaitu 1,007 hingga 1,008. Terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan pada rentang 13,2 GHz hingga 13,5 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,018671 pada frekuensi 13,3 GHz. Pada dimensi ℓ = 6 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah 9,5 GHz hingga 12,8 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 12,4 GHz yaitu 1,008 hingga 1,009. Terjadi penurunan kinerja yang signifikan pada rentang 13,0 GHz hingga 13,4 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,023302 pada frekuensi 13,3 GHz dan 1,023638 pada frekuensi 13,4 GHz. Pada dimensi ℓ = 7 cm, rentang frekuensi dengan kinerja terbaik adalah

9,5 GHz hingga 12,4 GHz dan 13,9 GHz hingga 14,5 GHz dengan nilai VSWR terbaik pada frekuensi 9,5 GHz hingga 12,4 GHz yaitu 1,006 hingga 1,008. Terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan pada rentang 13,0 GHz hingga 13,3 GHz, dengan puncak VSWR mencapai 1,013958 pada frekuensi 13,2 GHz.

V. KESIMPULAN

1. Semakin besar dimensi a , SWR cenderung lebih baik pada frekuensi yang lebih rendah. Pada dimensi $a = 1,6$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai VSWR 1,007141, pada dimensi $a = 1,8$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai VSWR 1,001231 dan pada dimensi $a = 2$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 10,5 GHz dengan nilai VSWR 1,006239.
2. Perubahan variasi dimensi b , menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan. Semakin besar dimensi b , maka SWR cenderung lebih baik pada frekuensi yang lebih rendah.
3. Pada dimensi $a = 1,6$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai VSWR 1,007141, pada dimensi $a = 1,8$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 12,4 GHz dengan nilai VSWR 1,000073 dan pada dimensi $a = 2$ cm SWR terendah terjadi pada frekuensi 11,9 GHz dengan nilai VSWR 1,001422.
4. Perubahan variasi dimensi t , tidak menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan pada *waveguide* persegi. Baik untuk $t = 0,01$ cm, $t = 0,02$ cm, maupun $t = 0,03$ cm, *waveguide* menunjukkan kinerja terbaik pada rentang frekuensi sekitar 9,5 GHz hingga 12,8 GHz.
5. Perubahan variasi dimensi ℓ , tidak menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan pada *waveguide* persegi. Baik untuk $\ell = 5$ cm, $\ell = 6$ cm, maupun $\ell = 7$ cm, *waveguide* menunjukkan kinerja terbaik pada rentang frekuensi sekitar 9,5 GHz hingga 12,8 GHz.

REFERENSI

- [1] A. Karim, **Perancangan Jaringan Wireless Menggunakan Antena Kaleng Kaleng Sebagai Penguat Sinyal**, *Inf. dan Teknol. Ilm.*, vol. 12, no. May, pp. 209–214, 2017.
- [2] W. Fauziah, **BAB II TEORI PENUNJANG**, 2010.
- [3] L. Markis, **Pengukuran efek transformer pada waveguide**, pp. 1–5.
- [4] Anonim, **Waveguide Sebagai Saluran Transmisi Gelombang Mikro**, pp. 1–25.
- [5] T. Ismanto and M. Alaydrus, **Perancangan Transisi Koaxial Kewaveguide Wg8**, *J. Teknol. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 36–43, 2013, doi: 10.22441/jte.v4i2.747.
- [6] P. J. Bevelacqua, **VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)**. [Online]. Available: <https://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>
- [7] S. Alam and A. K. Santoso, **Antena Mikrostrip Segitiga Dengan Parasitic Untuk Aplikasi Wireless Fidelity**, *J. Kaji. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 25–37, 2017.