

PERANCANGAN DAN REALISASI *SLOTTED LINE* PADA FREKUENSI KERJA (100 MHz – 200 MHz) SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN SALURAN TRANSMISI

DESIGN AND REALIZATION OF *SLOTTED LINE* AT FREQUENCY (100 MHz – 200 MHz) FOR TRANSMISSION LINE LEARNING MEDIA

Zaharah Tricahyani Ardian¹, Dwi Andi Nurmantris, S.T.,M.T.², Radial Anwar, S.Si., M.Sc., Ph.D.³

¹²³ Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹zahraardyan07@gmail.com, ²dwiandi@telkomuniversity.co.id, ³radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Slotted Line adalah saluran transmisi yang mempunyai celah membujur searah dengan rambat gelombang elektromagnetik yang mengalir didalamnya. *Slotted line* juga mempunyai konstruksi dasar menyerupai kabel koaxial yang mempunyai nilai impedansi karakteristik sebesar 50Ω . Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran di saluran transmisi yaitu untuk mengukur impedansi melalui VSWR dan koefisien pantul, konstanta saluran sekunder dan konstanta primer serta frekuensi dan panjang gelombang.

Tujuan pembuatan proyek akhir ini adalah merealisasikan sebuah perangkat telekomunikasi sederhana yang dapat digunakan dalam kegiatan praktikum di Laboratorium Antenna and Wireless Communication. *Slotted line* pada proyek akhir ini dirancang mempunyai nilai impedansi karakteristik sebesar 50Ω , $VSWR \leq 2$ dan rentang frekuensi 100 MHz – 200 MHz.

Perancangan pada proyek akhir akan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, untuk mengetahui hasil keluaran sesuai dengan spesifikasi awal, menentukan frekuensi kerja apakah sudah sesuai dengan frekuensi kerja yang diinginkan dan juga nilai impedansi karakteristik yaitu 50Ω dan $VSWR \leq 2$.

Kata kunci : Slotted Line, Coaxial, Impedansi Karakteristik, Frekuensi

Abstract

Slotted Line is a transmission line that has a longitudinal slot of the electromagnetic wave propagation that flows inside. The slotted line also has a basic construction resembling a coaxial cable that has a characteristic impedance value of 50Ω . This tool can be used to measurement in transmission line is to measure impedance through VSWR and reflection coefficient, secondary channel constants and primary constants and then frequency and wavelength.

The purpose of making this final project is to realize a simple telecommunication device that can be used in practical activities at Antenna and Wireless Communication Laboratory. The slotted line of this final project is designed to have a characteristic impedance value of 50Ω , $VSWR \leq 2$ and a frequency range from 100 MHz - 200 MHz.

The design of this final project will be in accordance with the specified specification, to know the output according to the initial specification, determining the working frequency whether it is in accordance with the desired working frequency and also the characteristic impedance value is 50Ω and $VSWR \leq 2$.

Keywords: Slotted Line, coaxial, characteristic impedance, Frequency

1. Pendahuluan

Slotted Line merupakan sebuah perangkat penunjang telekomunikasi sederhana yang berfungsi untuk mengukur parameter dari sebuah saluran transmisi, yaitu meliputi VSWR, koefisien pantul. Dengan menggunakan beban yang berbeda pada suatu pengukuran, akan mendapatkan hasil yang berbeda pula di setiap parameter yang diukur. Parameter yang diukur meliputi impedansi input, koefisien pantul serta pola gelombang berdiri yang kemudian dapat digunakan sebagai acuan apakah suatu transmisi yang digunakan dapat memenuhi syarat dan memiliki kualitas transmisi yang baik atau tidak. Koefisien pantul merupakan besaran yang

merepresentasikan suatu gelombang pantul yang terjadi pada saluran transmisi. Semakin besar nilai koefisien pantul, maka semakin besar pula gelombang pantul yang terjadi pada saluran transmisi *Slotted Line* selalu digunakan dalam Praktikum di Laboratorium Antenna and Wireless Communication dari tahun ke tahun dan menjadi alat praktikum yang selalu ada dalam modul Praktikum Teknik Transmisi Radio. *Slotted line* yang ada di Laboratorium Antenna and Wireless Communication bisa dikatakan kurang maksimal dalam pengukuran dimana setiap perangkat penunjang telekomunikasi mempunyai masa optimal. Lama masa pemakaian atau umur perangkat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kesesuaian pemakaian perangkat dengan prosedur pemakaian, dan kualitas komponen penyusun perangkat Pada proyek akhir ini telah dirancang sebuah alat yang dapat digunakan untuk modul pembelajaran *slotted line* dan fenomena pantulan. Diharapkan dengan adanya proyek akhir ini dapat membantu pengembangan Laboratium Antenna and Wireless Communicaton.

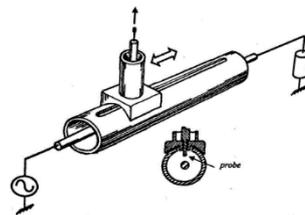
2. Dasar Teori

2.1 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi adalah penghantar, baik berupa konduktor ataupun isolator (dielektrika), yang digunakan untuk menghubungkan suatu pembangkit sinyal, disebut juga sumber, dengan sebuah penerima/pemakai, atau disebut juga beban[1]. Saluran transmisi seperti sebuah rangkaian dua gerbang (two-port), sehingga bisa dianalisa bagaimana sisi input memiliki ketergantungan terhadap sisi output[1].

2.2 Slotted Line

Energi berpindah di sepanjang saluran transmisi dalam bentuk gelombang elektromagnet. Gelombang yang ditimbulkan oleh sumber sinyal dan mengalir pada saluran transmisi menuju suatu disebut sebagai gelombang datang (*incident wave*). Jika nilai impedansi beban (Z_L), sama dengan nilai impedansi karakteristik saluran transmisi (Z_0), maka seluruh energi yang berasal dari sumber akan diserap oleh beban. Dengan kata lain, jika saluran transmisi dengan panjang terbatas diterminasi dengan beban yang bernilai ($Z_L=Z_0$). Jika impedansi beban tidak sama dengan impedansi karakteristik saluran, maka akan terdapat energi yang dipantulkan kembali menuju sumber dalam bentuk gelombang pantul (*reflected wave*)[5].



Gambar 2.1 Slotted Line[1].

2.3 Parameter-parameter pada saluran transmisi

Nilai dari R , L , G , dan C ditentukan langsung dari ukuran geometri dari saluran transmisi itu sendiri dan material penyusunnya, sehingga ke-empat besaran ini dinamakan konstanta primer dan konstanta sekunder adalah konstanta yang dapat dihitung setelah konstanta primer ditentukan.

Tabel 2.1 Parameter-parameter pada saluran transmisi

Primer	Sekunder
Resistansi (R)	Konstanta Propagasi (γ)
Konduktansi (G)	Konstanta Redaman (α)
Kapasitansi (C)	Konstanta Fasa (β)
Induktansi (L)	Kecepatan Fasa (V_{ph})
	Kecepatan Group (V_g)
	Impedansi Karakteristik (Z_0)

2.4 Impedansi Karakteristik dan Kecepatan Propagasi

Pada saluran transmisi dikenal istilah TEM (*Transverse Electromagnetic*) yaitu distribusi medan elektromagnetik pada saluran transmisi *uniform*. Pada gelombang datar, *uniform* berarti sama di semua titik. Saluran Transmisi dikatakan *uniform* jika distribusi penampang medan listrik dan medan magnet sama di semua titik sepanjang saluran transmisi tersebut[7]. Untuk memperoleh keadaan tersebut, diperlukan karakteristik medium dielektrik yang *uniform* di sepanjang titik pada saluran transmisi. Jika sifat saluran transmisi *uniform*, maka untuk setiap sampel diferensial dapat dibuat rangkaian kutub empat ekivalen yang memiliki parameter sebagai berikut:

Impedansi karakteristik merupakan salah satu parameter sekunder pada saluran transmisi. Untuk satuan panjang, C, didefinisikan sebagai impedansi karakteristik (Z_0) dari saluran pada frekuensi tinggi[4]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

Gelombang bergerak dengan kecepatan v, yang bergantung pada L dan C dengan cara berikut:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.2)$$

Jika dielektrik yang digunakan dalam garis adalah udara L dan C untuk setiap garis seragam selalu sama. Kecepatannya cahaya yaitu (3×10^8 m/sec). Jika konstanta dielektrik yang efektif ϵ_r lebih besar dari 1, maka kecepatan propagasi adalah kecepatan cahaya yang dibagi oleh akar square dari konstanta dielektrik yang efektif.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

hubungan antara frekuensi (f) dan panjang gelombang λ pada saluran transmisi adalah:

$$\lambda f = v \quad (2.4a)$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (2.4b)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.4c)$$

untuk panjang gelombang didefinisikan sebagai jarak dimana gelombang merambat sepanjang saluran agar pergeseran gelombang mencapai 2π radian (satu gelombang penuh).

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \text{(meter)} \quad (2.5)$$

Impedansi Karakteristik, Z_0 dapat dihitung pada persamaan berikut[9]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d} \quad (2.6)$$

Dimana, D adalah diameter dalam konduktor luar dan d adalah diameter luar konduktor dalam[3]

2.5 Koefisien Pantul

Setiap saluran Transmisi mempunyai Impedansi Karakteristik yang berbeda satu sama lain. Adanya Impedansi Karakteristik inilah yang menyebabkan adanya beberapa parameter. Diantaranya adalah koefisien pantul, VSWR, dan gelombang berdiri.

Koefisien pantul didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan pantul (*reflected*) dengan tegangan datang (*incident*) atau perbandingan arus pantul dengan arus datang. Pantulan dalam saluran transmisi disebabkan ketidak sepadanan (*unmatched*) saluran dengan beban. Koefisien pantul dapat dirumuskan sebagai berikut[1]:

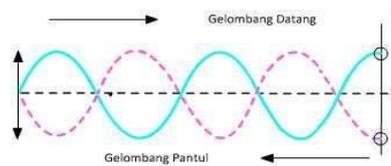
$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

2.6 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum terhadap tegangan minimum pada suatu gelombang berdiri. Gelombang berdiri yang terjadi karena superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Bila berlawanan fasa akan terjadi tegangan minimum. VSWR yang baik bernilai 1 sampai 2, tetapi akan lebih baik jika nilai VSWR mendekati 1. VSWR dapat dinyatakan pada persamaan 2.9 berikut ini[2]:

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.8)$$

Mengenai adanya refleksi yang diakibatkan kondisi yang tidak *matching*, mengakibatkan terjadinya pola gelombang (tegangan dan arus). Dengan gambaran pola gelombang berdiri dapat mengetahui tegangan dan arus sepanjang saluran transmisi dan memberikan posisi nilai maksimum serta minimum yang bisa dicapai tegangan dan arus di setiap titik pada saluran transmisi. Beban yang *matching* akan menyerap gelombang yang datang secara sempurna, tak ada sedikitpun yang direfleksikan kembali ke sumber. Nilai efektif gelombang tegangan akan konstan sepanjang saluran transmisi. Beban lain secara umum akan membangkitkan gelombang refleksi yang bersama dengan gelombang datang akan menghasilkan pola gelombang berdiri di sepanjang saluran transmisi[1].



Gambar 2.2 Pola Gelombang Berdiri

a. $Z_L = Z_0$ (Sepadan)

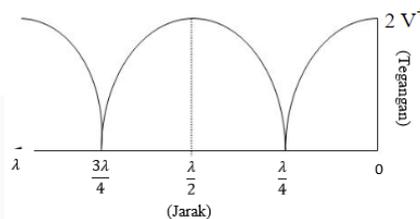
Pada saluran sepadan yang berarti impedansi karakteristik sama dengan impedansi beban, maka koefisien pantul akan sama dengan nol. Dengan koefisien pantul sama dengan nol maka perbandingan antara gelombang datang dengan gelombang pantul juga akan sama dengan nol. Dengan begitu maka pola gelombang pantul yang terbentuk akan seperti berikut.



Gambar 2.3 Pola gelombang berdiri pada saluran sepadan

b. $Z_L = \infty$ (Open Circuit)

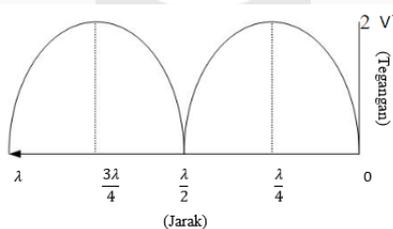
Saluran *open circuit* yaitu saluran yang dibiarkan terbuka pada sisi terminasinya. Hal ini bertujuan untuk mengkondisikan agar impedansi beban yang terletak pada sisi terminasi yang terbuka tersebut mendekati tak hingga. pada panjang gelombang maka pola gelombang berdiri yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Pola gelombang berdiri kondisi *open circuit*

c. $Z_L = 0$ (Short Circuit)

Saluran *short circuit* adalah saluran yang dikondisikan agar kutub positif dan negatif pada saluran tersebut saling menyambung. Hal ini bertujuan untuk mengkondisikan agar impedansi beban yang terletak pada ujung yang terbuka tersebut bernilai. Dengan demikian terjadilah perbedaan antara impedansi karakteristik saluran dengan impedansi beban. pada panjang gelombang maka pola gelombang berdiri yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Pola gelombang berdiri kondisi *short circuit*

2.7 Return Loss

Return Loss adalah parameter yang menyatakan hilangnya sejumlah daya yang dipantulkan kembali ke sumber karena gangguan transmisi atau rangkaian yang tidak *matching*. Nilai dari *Return Loss* harus sekecil mungkin atau negatif jika dalam *decibel* (dB) agar daya transfer maksimum[6]. Nilai dari parameter return loss merupakan salah satu acuan untuk melihat apakah slotted line dapat bekerja sesuai dengan frekuensi yang diharapkan ataupun belum sesuai dengan yang diharapkan. Nilai *return loss* yang baik adalah ≤ -9.54 nilai ini diperoleh untuk mendapatkan $VSWR \leq 2$. Besarnya *return loss* bervariasi, tergantung pada frekuensi. Untuk memperoleh nilai *return loss* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RL = - 20 \log |r| \tag{2.9}$$

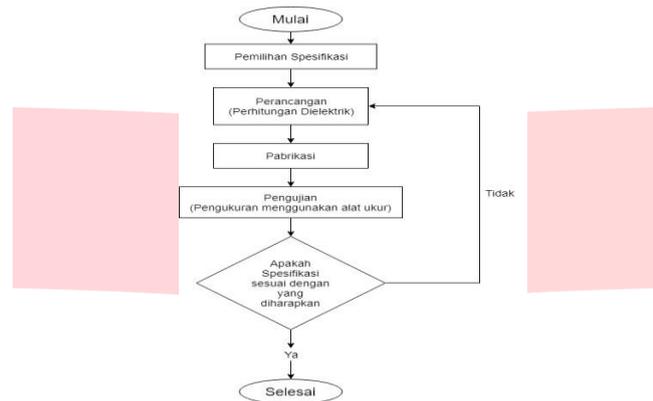
2.8 Insertion Loss

Insertion Loss adalah parameter yang menyatakan daya yang terserap ke beban dan tidak kembali sebagai gelombang pantul[6]. Daya yang dikirimkan dari sumber ke beban ada yang dipantulkan kembali ke sumber dan ada yang diteruskan ke beban, namun daya yang diteruskan ke beban sebagian hilang karena komponen pada rangkaian, hilangnya daya inilah yang disebut *Insertion Loss*.

3. Perancangan dan Realisasi

3.1 Flowchart Pengerjaan

Dalam perancangan *Slotted Line* ada beberapa tahapan yang akan dilakukan yaitu pada gambar berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan *slotted line*

3.2 Spesifikasi Antena

Dalam merealisasikan *slotted line*, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan spesifikasi *slotted line*. Spesifikasi yang telah ditentukan inilah yang akan menjadi acuan saat merealisasikan *slotted line*. Spesifikasi *slotted line* yang diinginkan yaitu *slotted line* dengan nilai $VSWR \leq 2$, Impedansi 50Ω . Konduktor luar berbahan besi hollow dengan diameter 30 mm, konduktor dalam berbahan pipa tembaga dengan diameter 12,7 mm, panjang *slotted line* yang direalisasikan sepanjang 120 cm. akan tetapi untuk 1 lambda panjang *slotted line* adalah 115 cm karena mengikuti celah pada besi hollow tersebut.

Slotted Line dirancang dan direalisasikan untuk mempunyai rentang frekuensi dari 100 MHz – 200 MHz. untu pola gelombang berdiri akan frekuensi yang diharapkan adalah 259 MHz karena menyesuaikan dengan bahan yang ada dipasaran. *Slotted line* dirancang dan direalisasikan dengan nilai $VSWR \leq 2$ dan nilai impedansi karakteristik sebesar 50Ω . Nilai impedansi karakteristik yang ditentukan pada spesifikasi ini mengacu kepada nilai impedansi karakteristik dari kabel *coaxial*. Hal ini dikarenakan konstruksi *slotted line* diambil dari konstruksi kabel *coaxial* dan parameter serta perhitungannya untuk mendapatkan bahan pengisi *slotted line*. Bahan konduktor luar *slotted line* yaitu besi hollow, karena mempunyai nilai konduktivitas seperti tembaga dan mudah dijumpai di pasaran. Untuk konduktor dalam menggunakan pipa tembaga, hal ini didasarkan pada nilai konduktivitas tembaga termasuk salah satu bahan penghantar listrik yang baik.

3.3 Perancangan Slotted Line

Langkah awal terpenting dari *slotted line* adalah bahan pengisinya sehingga nanti akan dapat diketahui nilai permitivitas. Permitivitas dapat diatur sesuai spesifikasi yang diinginkan. Permitivitas menggunakan udara dengan nilai 1. Untuk mengetahui apakah dielektrik menggunakan udara yang bernilai 1 dan nilai diameter dalam menggunakan diameter 12,7 mm dan konduktor luar berdiameter 30 mm. Spesifikasi ini ditentukan berdasarkan ketersediaan bahan konduktor yang ada dipasaran, serta menyesuaikan ukuran panjang *slotted line* yang akan direalisasikan

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d} \\
 &= \frac{138}{1} \log \frac{30}{12,7} \\
 &= 138 \times \log 2,363 \\
 &= 138 \times 0,373 \\
 &= 51,474\Omega
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Keterangan :

Z_0 = Impedansi Karakteristik

ϵ_r = Permitivitas

D = Diameter dalam konduktor luar (mm)

d = Diameter luar konduktor dalam (mm)

Gambar 3.2 Rangka *Slidding Contact*

Pada proses ini dilakukan pemotongan pada plat besi dengan ukuran sesuai dengan lebar *slotted line*, kemudian dipasangkan pada besi hollow apakah ukuran rangka *slotted line* sesuai dengan besi hollow atau tidak. Kemudian dibulatkan sesuai konektor yang digunakan sebagai *slidding contact*.

Gambar 3.3 *Slidding Contact*

Slidding contact ini sendiri terdiri dari *inner* kabel RG-8 dan konektor N. *Inner* kabel RG-8 ini digunakan sebagai *detector* pada *slidding contact*, *inner* ini dibuat *loop* dan melingkar di konduktor dalam *slotted line* kemudian di solder pada mata konektor N.

Gambar 3.4 Konduktor luar *slotted line* dari besi hollow

Bahan konduktor luar *slotted line* yaitu besi hollow, karena mempunyai nilai konduktivitas seperti tembaga dan mudah dijumpai di pasaran. Dan untuk diameter disesuaikan dengan persamaan Z_0 yaitu 30 mm. Untuk panjangnya yaitu bernilai 120 cm sesuai dengan yang ada di pasaran. Masing-masing ujung *slotted line* dilubangi dengan ukuran yang sesuai dengan konektor N yang akan digunakan sebagai ujung-ujung terminasi. Dan untuk celah *slotted line* dilubangi pada besi hollow tersebut. Untuk celah *slotted line* panjangnya adalah 115 cm.

Gambar 3.5 Konduktor dalam *slotted line* dari pipa tembaga

Untuk konduktor dalam menggunakan pipa tembaga, hal ini didasarkan pada nilai konduktivitas tembaga termasuk salah satu bahan penghantar listrik yang baik. Menentukan diameter dalam sesuai dengan perhitungan yang diinginkan yaitu 12,7 mm. Untuk menghubungkan pipa tembaga ke konektor menggunakan *inner* kabel RG-8 agar bisa di solder ke mata konektornya.

3.4 Realisasi Slotted Line

1. Siapkan bahan yang diperlukan untuk realisasi *slotted line* yaitu:
 - Pipa tembaga diameter 12,7 mm
 - Besi hollow diameter 30 mm
 - 3 buah konektor-N
 - Pelat yang sudah dibentuk sesuai besi hollow yang akan digunakan sebagai konduktor luar pada *slotted line*.

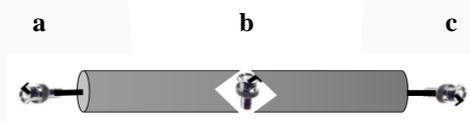
2. Potong pipa tembaga sesuai dengan panjang besi hollow, belah ujung pipa tembaga untuk dihubungkan ke konektor menggunakan *inner* kabel RG-8
3. Buat celah *slotted line*
4. Ujung *slotted line* dilubangi dengan ukuran yang sesuai dengan konektor N yang akan digunakan
5. Pasang pelat yang sudah dimodifikasi sebagai *detector* pada *sliding contact* kemudian dicoba digeserkan.
6. Pasang konektor-N pada kedua sisi terminasi kemudian solder dan kuatkan sebagai penghubung konektor dengan konduktor dalam
7. pasang baut kemudian dikuatkan
8. *slotted line* siap

Gambar 3.6 *Slotted line* yang telah direalisasi

4 Hasil dan Pengujian

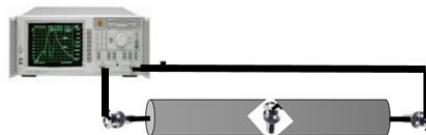
4.1 Pengukuran

Pada NA dilakukan pengukuran untuk dapat melihat parameter yang ingin di ukur seperti S-Parameter, VSWR dan impedansi. Langkah pertama pengukuran adalah melihat S-Parameter yaitu S-Parameter pada *slotted line* untuk mengetahui frekuensi kerja saluran tersebut dan mengetahui apakah *slotted line* bekerja dengan bagus dengan 3 konektor yang ada di terminasi *input*, *output* dan *sliding contact*. Pada *slotted line* terdapat 3 konektor yang akan diukur S parameternya, maka dari itu untuk pengukuran dilakukan bergantian pada konektor *slotted line* yang dihubungkan dengan port 1 dan port 2 NA. ada 3 tahap pengukuran S Parameter sesuai dengan 3 konektor pada *slotted line*. Sebelum pengukuran ditentukan konektor 1,2 dan 3. Berikut ini adalah gambar untuk menunjukkan konektor yang ada pada *slotted line* dan 3 tahap pengukuran S parameter:

Gambar 4.1 *Slotted Line* dengan 3 konektor

Keterangan:
 a : konektor 1
 b : konektor 3
 c : konektor 2

- 1 Pengukuran S parameter pada konektor 1 dan konektor 2

Gambar 4. 2 Pengukuran S-Parameter pada *Network Analyzer* pada konektor 1 dan 2

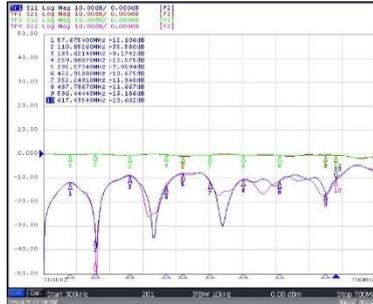
Tahap dalam melakukan pengukuran pada NA adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan perangkat *Network Analyzer*.
- 2) Lakukan kalibrasi 2 port menggunakan kit kalibrasi pada *network analyzer*.
- 3) Hubungkan port 1 NA ke konektor 1 pada *slotted line* dan port 2 NA ke konektor 2 pada *slotted line*.
- 4) Pasang beban 50 Ω pada konektor ketiga pada *slotted line*.

Pada perhitungan VSWR dengan berbeda konektor sama saja dalam pengukuran hanya perbedaan menghubungkan konektor dengan port pada NA saja. Untuk perhitungan VSWR dan Impedansi dilakukan pada konektor 1 dan konektor 2 dengan kondisi *open circuit* dikonektor 3 dengan cara menekan tombol format lalu memilih menu SWR. Hal yang sama dilakukan dalam pengukuran impedansi hanya saja pada tombol format yaitu memilih menu smith.

4.2 Hasil Pengukuran

4.2.1 Pengukuran S-Parameter



Gambar 4.3 Hasil pengukuran S-Parameter slotted line (konektor 1 dan 2)

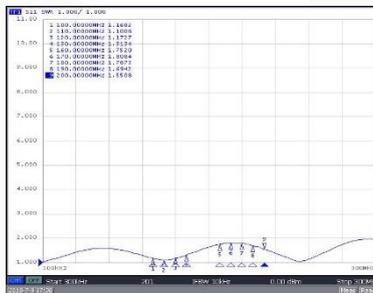
Pada pengukuran S11, S21, S12, dan S22 dapat dikatakan bahwa *slotted line* yang bekerja pada frekuensi yang mempunyai nilai $RL \leq -10$ terdapat pada beberapa frekuensi. Berikut adalah beberapa frekuensi yang nilai $RL \leq -10$:

Tabel 4.1 Frekuensi kerja slotted line

Frekuensi kerja <i>slotted line</i>	$RL \leq -10$
57 MHz	-12.1
110 MHz	-35.58
259 MHz	-13.57
422 MHz	-10.67
352 MHz	-11.94
497 MHz	-11.66
596 MHz	-16.18
617 MHz	-10.66

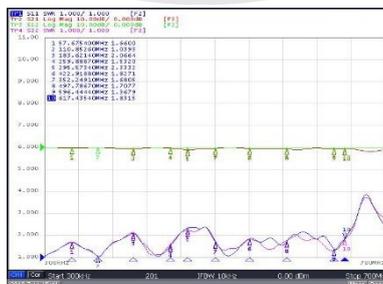
4.2.2 Pengukuran VSWR

Untuk menentukan nilai VSWR pada *slotted line* yaitu dengan menghubungkan port 1 NA ke bagian konektor 1 *slotted line* dan port 2 NA ke bagian konektor 2 pada *slotted line*. Berikut ini hasil dari pengukuran VSWR pada *slotted line*:



Gambar 4.4 Pengukuran VSWR pada frekuensi 100MHz-200MHz

Untuk frekuensi 100MHz sampai 200 MHz VSWR sudah sesuai dengan frekuensi yang mana untuk $VSWR \leq 2$.



Gambar 4.5 Pengukuran SWR pada *slotted line*

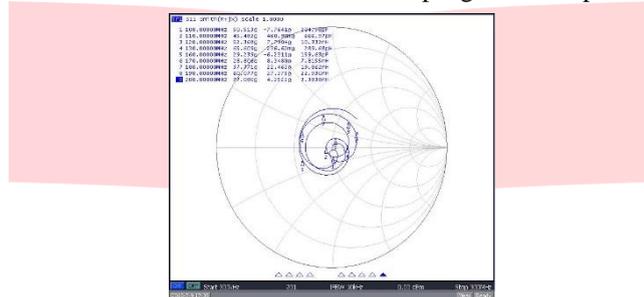
Dari data pengukuran, terdapat nilai VSWR yang bervariasi. Akan tetapi, tidak semua nilai VSWR yang ideal ($VSWR = 1$). Dari hasil yang didapat untuk VSWR pada *slotted line* yang direalisasi ini sudah sesuai dengan spesifikasi. Yang mana nilai VSWR nya ≤ 2 . Berikut adalah frekuensi yang nilai $VSWR \leq 2$:

Tabel 4.2 Frekuensi kerja *slotted line* dengan VSWR < 2

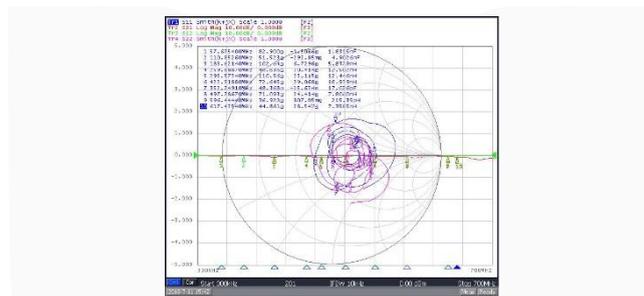
Frekuensi	VSWR ≤ 2
57 MHz	1.6
110 MHz	1.03
259 MHz	1.53
422 MHz	1.82
352 MHz	1.68
497 MHz	1.7
596 MHz	1.36
617 MHz	1.83

4.2.3 Pengukuran Impedansi

Setelah pengukuran VSWR dilakukan, langkah selanjutnya adalah dengan pengukuran impedansi. Pengukuran impedansi dilakukan dengan cara yang sama dengan pengukuran VSWR. Hal ini yang membedakan saat pengukuran VSWR dengan impedansi adalah pada format di NA. berikut ini hasil dari pengukuran impedansi pada *slotted line*:



Gambar 4.6 Pengukuran Impedansi pada frekuensi 100MHz-200MHz

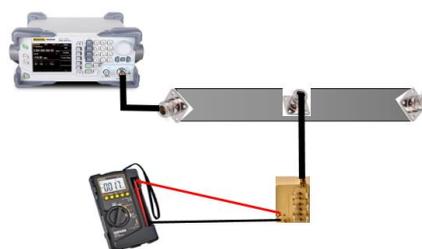


Gambar 4.7 Pengukuran Impedansi pada *slotted line*

Dari hasil pengukuran impedansi pada *slotted line* didapatkan hasil yang bervariasi. Jika dikaitkan kepada perancangan awal, maka seharusnya pada saat kondisi sepadan nilai impedansi yang tertera saat pengukuran sebesar 50Ω. Saat pengukuran berlangsung, terdapat beberapa hasil yang tidak sesuai dengan spesifikasi awal, yaitu 50Ω, akan tetapi mendekati.

4.2.4 Pola Gelombang Berdiri

Penggambaran pola gelombang berdiri dilakukan dengan menggunakan signal generator sebagai pembangkit frekuensi, multimeter sebagai pengukur tegangan dengan rangkaian AC to DC dan beban yang mempunyai nilai impedansi berbeda yang berfungsi agar terjadi pantulan yang menyebabkan terbentuknya pola gelombang berdiri. Beban yang digunakan adalah open circuit, short circuit dan beban 50Ω untuk keadaan *match*.



- Terminasi beban:

 - Open circuit
 - Short Circuit
 - Beban 50Ω

Gambar 4.8 Pengukuran VSWR

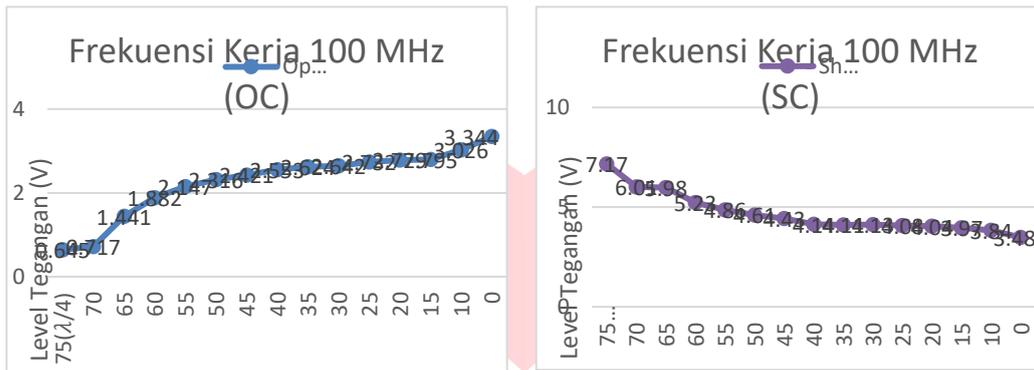
Berikut adalah hasil penggambaran pola gelombang berdiri ketika kondisi *open circuit*, *short circuit*, dan 50Ω dengan

beberapa frekuensi kerja *slotted line*:

1. Frekuensi 100 MHz

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} \\ &= 3 \text{ m} \\ &= 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penggambaran pola gelombang berdiri untuk frekuensi 100 MHz hanya pada jarak $\lambda/4$ karena *slotted line* yang digunakan panjangnya 115 cm sedangkan panjang lambda frekuensi 100 MHz adalah 300 cm.

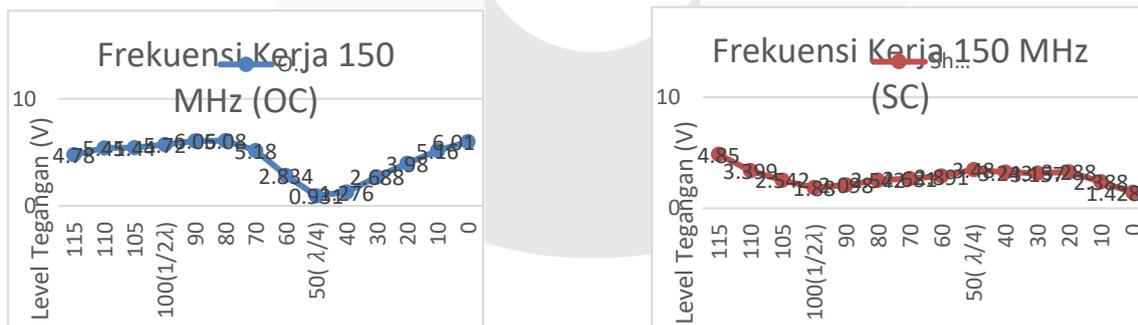


Gambar 4.9 Daigram pola gelombang berdiri frekuensi 100MHz kondisi open circuit dan short circuit

2. Frekuensi 150 MHz

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{3 \cdot 10^8}{150 \cdot 10^6} \\ &= 2 \text{ m} \\ &= 200 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penggambaran pola gelombang berdiri untuk frekuensi 150 MHz hanya pada jarak $\lambda/2$ karena *slotted line* yang digunakan panjangnya 115 cm sedangkan panjang lambda frekuensi 150 MHz adalah 200 cm.

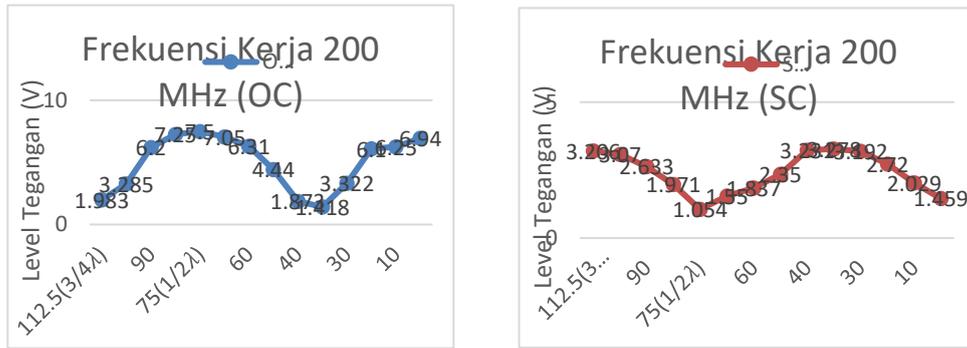


Gambar 4.10 Daigram pola gelombang berdiri frekuensi 150MHz kondisi open circuit dan short circuit

3. Frekuensi 200 MHz

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{3 \cdot 10^8}{200 \cdot 10^6} \\ &= 1.5 \text{ m} \\ &= 150 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penggambaran pola gelombang berdiri untuk frekuensi 200 MHz hanya pada jarak $3/4 \lambda$ karena *slotted line* yang digunakan panjangnya 115 cm sedangkan panjang lambda frekuensi 200 MHz adalah 150 cm.



Gambar 4.11 Pola gelombang berdiri frekuensi 200MHz kondisi *open circuit* dan *short circuit*

4. Frekuensi 259 MHz

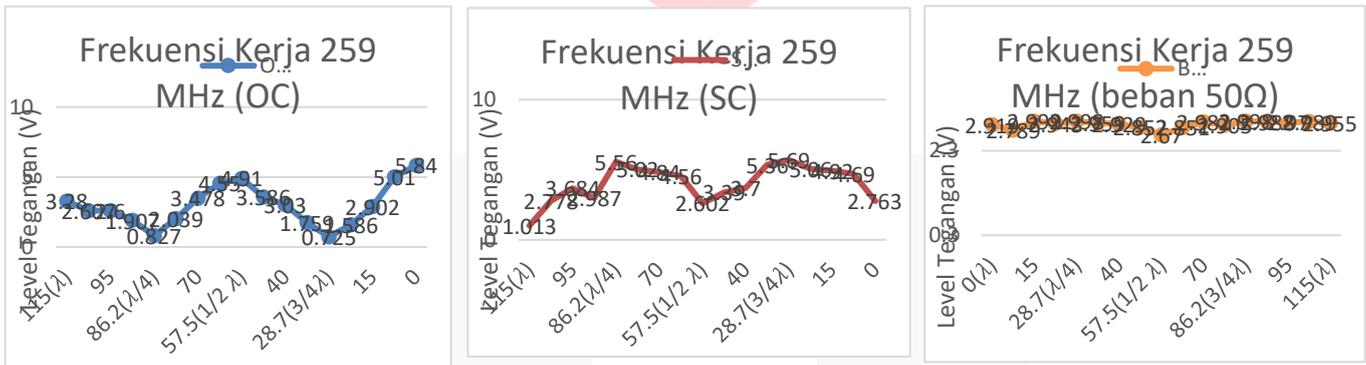
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8}{259 \cdot 10^6}$$

$$= 1.15 \text{ m}$$

$$= 115 \text{ cm}$$

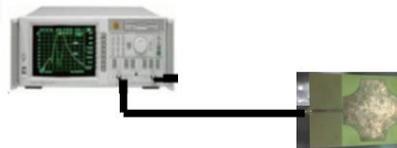
Untuk frekuensi 259 MHz lambdanya adalah 115 cm sesuai dengan slotted line yang telah direalisasikan.



Gambar 4.12 Pola gelombang berdiri frekuensi 259MHz kondisi *open circuit* dan *short circuit* dan beban 50Ω

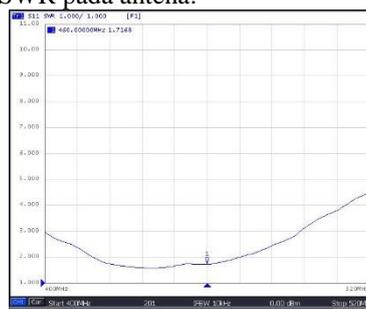
4.2.5 Pengukuran perbandingan SWR untuk beban antenna

Langkah pertama adalah nyalakan *network analyzer* untuk mengetahui berapa SWR dari antenna dengan frekuensi 460 MHz. yaitu dengan cara menghubungkan NA dengan antenna mikrostrip tersebut.



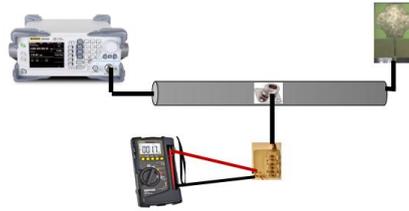
Gambar 4.13 Pengukuran SWR menggunakan *Network Analyzer* pada antenna

Berikut adalah hasil pengukuran SWR pada antenna:



Gambar 4.14 Hasil pengukuran SWR menggunakan *Network Analyzer*

Untuk hasil SWR menggunakan NA didapat nilai VSWR = 1.71. Setelah mengetahui VSWR antenna di *network analyzer* kemudian buktikan dengan menggunakan pola gelombang berdiri pada *slotted line*.



Gambar 4.15 Pengukuran VSWR menggunakan *slotted line* pada antenna

Nilai VSWR yang didapat adalah 1.666 dan mendekati dengan nilai VSWR yang diukur pada *network analyzer*. Dapat disimpulkan *slotted line* ini bekerja bagus dalam perhitungan VSWR.

5) Penutup

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam proses perhitungan, perancangan, realisasi dan pengukuran terhadap *Slotted Line* adalah sebagai berikut :

1. *Slotted line* dapat diimplementasikan sebagai modul pembelajaran Teknik Transmisi Radio.
2. *Slotted line* direalisasikan dengan konduktor dalam berupa pipa tembaga dan konduktor luar berupa besi hollow.
3. Semakin kecil frekuensinya semakin panjang *slotted line*.
4. Telah dirancang dan direalisasikan *slotted line* dengan $VSWR \leq 2$ dan impedansi 50Ω .
5. Telah didapatkan performansi yang baik pada keluaran tegangan *slotted line* dengan kondisi *open circuit*, *short circuit*, dan beban 50Ω .
6. Telah didapatkan hasil pengukuran VSWR dengan frekuensi 100 MHz sebesar 1.16 dan frekuensi 200 MHz sebesar 1.55
7. Telah didapatkan hasil pengukuran *return loss* ≤ -10 pada setiap frekuensi yang dibutuhkan.
8. Hasil pengukuran nilai impedansi yang didapatkan pada frekuensi 100 MHz sebesar 50.513Ω dan frekuensi 200 MHz sebesar 77.08Ω .
9. Besar diameter konduktor luar dan diameter konduktor dalam suatu *slotted line* itu mempengaruhi impedansi karakteristiknya.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan Proyek Akhir ini agar menjadi lebih optimal dalam perancangan *slotted line*, Sebagai berikut :

1. Untuk pengembangan *Slotted Line* kedepannya sebaiknya menggunakan bahan konduktor yang nilai konduktivitasnya paling tinggi agar pada saat menghantarkan gelombang energi dari gelombang yang dihantarkan tidak terserap oleh konduktor.
2. Menentukan bahan yang akan digunakan dalam membuat *slotted line*, cari frekuensi kerja saluran sesuai dengan yang ada dipasaran dengan menghitung λ

Daftar Pustaka

- [1] Alaydrus, Mudrik. 2009. *Saluran Transmisi Telekomunikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2] Balanis, C. A. 1997. *Antenna Theory Analysis and Design*, (Third edition). New York: Wiley
- [3] F.Iskander, Magdy. 2000. *Electromagnetic field and waves*. United State of America: Wave and Press. Inc.
- [4] General Radio Company. 2004. *Operating Instruction Type 874-LBA/-LBB Slotted Lines*. West Concord, Massachusetts: General Radio Company.
- [5] Jr, William H Hayt dan John A. Buck. 1989. *Engineering Electromagnetics*. (Fifth Edition). United States of America: McGraw-Hill Book Company.
- [6] Pozar, David, M. 2012. *Microwave Engineering*. (Fourth Edition). United States of America: John Wiley and Sons, Inc.
- [7] R. M. Pratama, S. D. Mardiyanto, Zulfi,. 2013. “Perancangan dan Realisasi *Slotted Line* Pada Frekuensi Kerja 100 MHz – 200 MHz”. Bandung: Open Library
- [8] R. Stevani, H. Wijayanto, A.D. Prasetyo. 2013. “Perancangan Otomasi Pengukuran *Slotted Line* Untuk Praktikum Laboratorium Dasar Transmisi”. Bandung: Open Library.
- [9] Rininta. 2010. *Rancang Bangun Sistem Line Untuk Frekuensi 500MHz-3GHz*. Bandung: Teknik Telekomunikasi IT Telkom.