

**PETUNJUK PRAKTIKUM**

# **SALURAN TRANSMISI**



*Oleh:*  
**Budi Aswoyo**

**POLITEKNIK ELEKTRONIKA NEGERI SURABAYA  
AGUSTUS 2018**

# KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Kami merasa bersyukur kepada **Allah swt**, yang telah memberi kekuatan kepada kami atas selesainya

## **BUKU PETUNJUK PRAKTIKUM SALURAN TRANSMISI**

Tujuan dari penyusunan buku ini adalah sebagai panduan bagi mahasiswa, untuk melaksanakan "Praktikum Saluran Transmisi" di Semester 3, Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).

Buku "Petunjuk Praktikum Saluran Transmisi" ini disusun berdasarkan dengan kurikulum baru yang berlaku di Pordi D3Telekomunikasi, PENS, dengan menggunakan peralatan baru hibah dari Permenintah Jepang, yaitu:

- (1) *Trainer Microwave 56-200*, Feedback Instruments Ltd.
- (2) *Trainer for Transmission Line DL 2597*, DeLorenzo Instruments Ltd.

Trainer pertama berjumlah empat unit dan mempunyai asesori yang sangat lengkap. Sedangkan trainer kedua hanya satu unit dan juga mempunyai asesori yang kurang lengkap, Sehingga dalam pelaksanaan praktikum ini, lebih banyak menggunakan trainer pertama. Dan insyaAllah, materi-materi praktikum yang telah digali dan dirangkum dalam buku ini, mampu menghantarkan kepada mahasiswa untuk mengetahui persoalan dasar praktis saluran transmisi yang diberikan di perkuliahan.

Lebih lanjut, Buku Petunjuk Praktikum Saluran Transmisi ini berisi tujuh judul praktikum. Karena pelaksanaan praktikum Saluran Transmisi paralel dua dengan praktikum mata kuliah lain, maka setiap mahasiswa mendapat giliran satu judul percobaan setiap dua minggu perkuliahan. Dengan kata lain, untuk tujuh judul praktikum, dapat diselesaikan oleh setiap mahasiswa selama 14 minggu (7 x 2 minggu). Jika jumlah perkuliahan ada 16 minggu, maka 2 minggu sisa perkuliahan dapat digunakan untuk melakukan evaluasi praktikum-rpraktikum yang telah dilaksanakan.

Akhirnya, ucapan terima-kasih tak lupa kami sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik dari segi dana, maupun '*urun rembug*' sehingga buku ini selesai tepat pada waktunya.

Surabaya, Agustus 2018  
Wassalam,

Penyusun.

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	(i)
KATA PENGANTAR .....	(ii)
DAFTAR ISI .....	(iii)
Percobaan 1: Pengukuran Impedansi Karakteristik dan Redaman pada Saluran Transmisi .....	(1)
Percobaan 2: Pengenalan “Waveguide” sebagai Saluran Transmisi Gelombang Mikro .....	(7)
Percobaan 3: Pengukuran karakteristik Diode Detektor Gelombang Mikro .....	(17)
Percobaan 4: Deteksi Tegangan Gelombang Berdiri dan Pengukuran VSWR .....	(24)
Percobaan 5: Pengukuran Impedansi dan Penyesuaian Impedansi Saluran Transmisi .....	(31)
Percobaan 6: Pengukuran Daya Transmisi dan Daya Refleksi pada Saluran Transmisi .....	(40)
Percobaan 7: Pengukuran Karakteristik <i>Junction Tee</i> Paralel, <i>Tee</i> Seri dan <i>Hybrid Tee</i> .....	(46)

# Percobaan 1

## Pengukuran Impedansi Karakteristik dan Redaman pada Saluran Transmisi

### 1.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah mengukur impedansi karakteristik saluran transmisi ( $Z_0$ ) dan redaman gelombang yang terdapat pada *Tranier Transmission Line DL 2597* merk *DeLorenzo*.

### 1.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan cara pengukuran impedansi karakteristik saluran transmisi ( $Z_0$ ) dan redaman gelombang yang terdapat pada *Tranier Transmission Line DL 2597*.
- ✓ Melakukan pengukuran impedansi karakteristik saluran transmisi ( $Z_0$ ) dan redaman gelombang.

### 1.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan adalah *Tranier Transmission Line DL 2597* merk *DeLorenzo*, dilengkapi dengan komponen-komponen berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
Kabel hubung-singkat ( <i>short-circuit</i> )	---	1 unit
Kabel penghubung antar <i>port</i>	---	8 unit
Impedansi meter	---	1 unit
Multimeter digital	---	1 unit

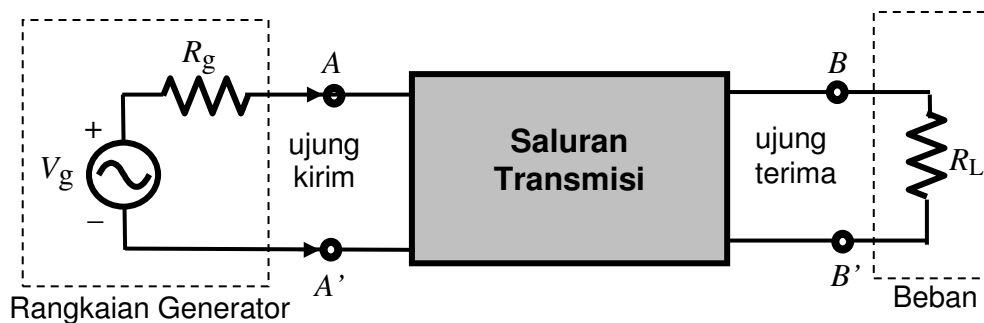
### 1.4 TEORI DASAR

#### 1.4.1 Pengertian Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah setiap bentuk hubungan secara listrik, baik berupa kawat penghantar, kabel dan lain-lain yang menghubungkan suatu sumber sinyal (generator) ke

beban. Macam-macam saluran transmisi yang digunakan dalam teknik telekomunikasi pada frekuensi radio antara lain: kabel pair, multipair, kawat sejajar, kabel koaksial, *waveguide*, *microstrip*, *strip line*.

Gambar 1-1 merupakan skema saluran transmisi, yang digambarkan sebagai suatu perangkat dengan 2 ujung, dimana masing-masing ujung mempunyai dua terminal. Salah satu ujungnya merupakan ujung kirim dan ujung yang lain merupakan ujung terima. Sumber sinyal atau rangkaian generator dihubungkan dengan ujung kirim. Dari teori rangkaian, sumber ini dapat diganti dengan rangkaian ekuivalen Thevenin, dengan suatu rangkaian generator yang terdiri atas tegangan generator  $V_g$  yang diseri dengan resistansi generator  $R_g$ .



**Gambar 1-1:** Gambar saluran transmisi secara skematik

Rangkaian yang dihubungkan dengan ujung terima saluran transmisi disebut dengan rangkaian beban atau disingkat dengan beban (*load*) saja, dan disimbolkan dengan resistansi beban  $R_L$  atau impedansi beban  $Z_L$ .

#### 1.4.2 Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi

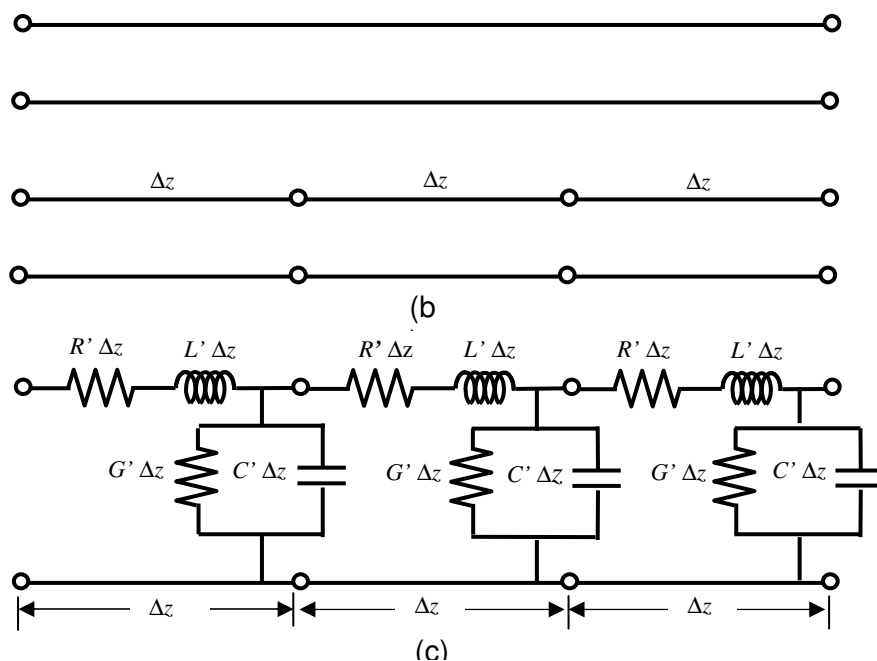
Jika kita menggambar secara skematik suatu rangkaian elektronika, kita akan menggunakan simbol-simbol khusus untuk menyatakan resistor, kapasitor, induktor, diode dan sejenisnya. Dalam hal ini, simbol menyatakan fungsional dari piranti tersebut berdasarkan bentuk, ukuran atau atribut lainnya. Demikian juga dengan saluran transmisi, kita menyatakan suatu saluran transmisi dengan konfigurasi kawat sejajar, seperti ditunjukkan pada Gambar 1-2(a), tanpa memperhatikan bentuk khusus saluran tersebut

berdasarkan susunannya. Gambar tersebut boleh jadi menyatakan saluran koaksial, saluran dua kawat sejajar atau bentuk saluran transmisi lainnya.

Dengan menyatakan kesamaannya dengan rangkaian elektronika, kita dapat menggambarkan saluran transmisi terdiri dari resistor atau konduktor, induktor dan kapasitor. Kita terapkan pemecahan yang sama dengan orientasi dari saluran panjang pada arah  $z$ , yang terbagi ke dalam masing-masing bagian diferensial dengan panjang  $\Delta z$  (Gambar 1-2(b)) dan selanjutnya kita nyatakan masing-masing bagian dengan rangkaian ekuivalen, sebagaimana dinyatakan pada Gambar 1-2(c). Pernyataan ini disebut dengan model rangkaian *LC (lumped circuit)*, yang terdiri dari empat elemen dasar, yang merupakan parameter saluran transmisi, yaitu:

- $R'$  : Kombinasi resistansi dari kedua konduktor per satuan panjang, dalam  $\Omega/\text{m}$ ,
- $L'$  : Kombinasi induktansi dari kedua konduktor per satuan panjang, dalam  $\text{H}/\text{m}$ ,
- $G'$  : Konduktansi dari medium dielektrik per satuan panjang, dalam  $\text{S}/\text{m}$ , dan
- $C'$  : Kombinasi kapasitansi dari kedua konduktor per satuan panjang, dalam  $\text{F}/\text{m}$ .

Dimana keempat parameter saluran tersebut mempunyai perbedaan pernyataan untuk bentuk yang berbeda dan dimensi saluran transmisi, ekuivalen dengan model yang dinyatakan dengan Gambar 1-2(c).



**Gambar 1-2:** Rangkaian ekuivalen saluran traansmisi; (a) Saluran transmisi kawat sejajar; (b) bagian diferensial setiap panjang  $\Delta z$  ; (c) setiap bagian dinyatakan dengan rangkaian ekuivalen

Berdasarkan Gambar 1-2 (dijelaskan dalam teori saluran transmisi), dapat impedansi karakteristik saluran transmisi  $Z_0$  yang dinyatakan dengan:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{(R' + j\omega L')}{(G' + j\omega C')}} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

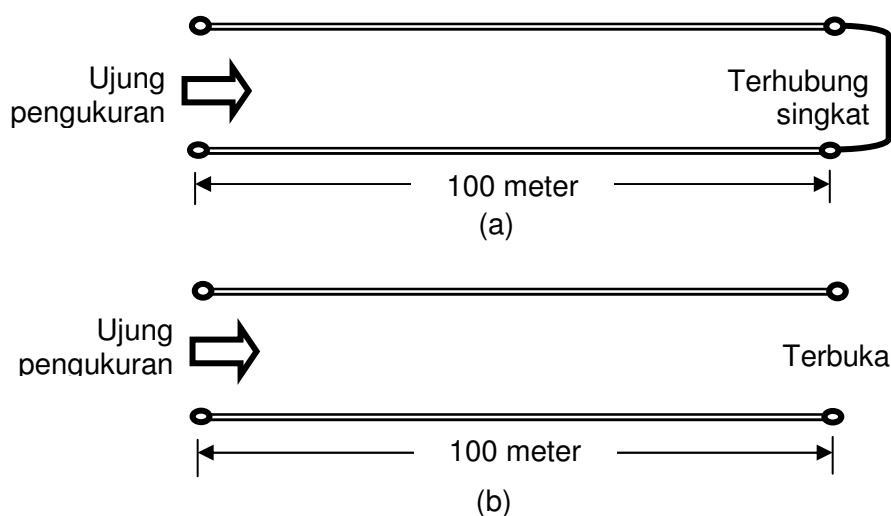
Untuk saluran tanpa rugi-rugi (*lossless*):

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

## 1.5 PROSEDUR PERCOBAAN

### 1.5.1 Pengukuran Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi

- (1) Dengan menggunakan *Tranier Transmission Line DL 2597*, tutuplah ujung akhir dengan kabel, agar kondisinya dalam keadaan terhubung-singkat (*short-circuit*) (Gambar 1-3a).
- (2) Dengan menggunakan impedansi meter, ukurlah ujung awalnya dan tandai hasilnya sebagai  $Z_{in}^{sc}$ .
- (3) Lepaslah kabel hubung-singkat, sehingga ujung saluran dalam keadaan terbuka (*open circuit*) (Gambar 1.3b).



**Gambar 1-3:** Rangkaian pengukuran impedansi input; (a) ujung saluran dalam keadaan terhubung-singkat; (b) ujung saluran dalam keadaan terbuka

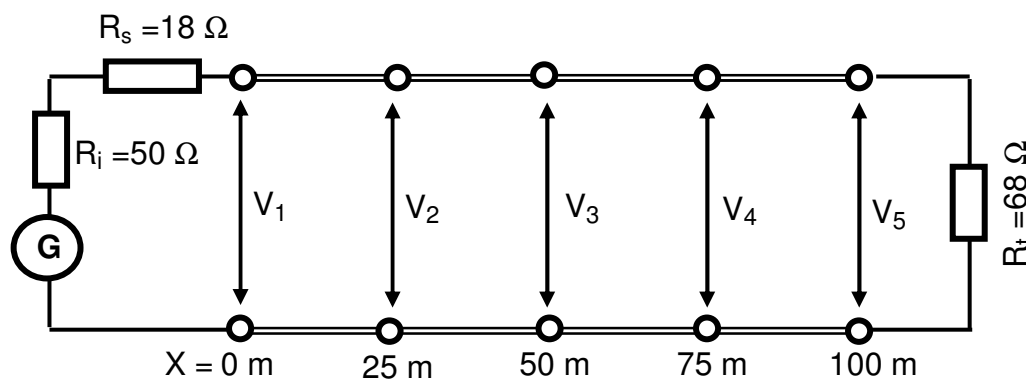
- (4) Dengan menggunakan impedansi meter, ukurlah ujung awalnya dan tandai hasilnya sebagai  $Z_{in}^{oc}$ .
- (5) Isikan hasil percobaan pada Tabel 1-1 di bawah ini.

**Tabel 1-1:** Data pengukuran impedansi karakteristik saluran transmisi

No.	Pengukuran impedansi input:	Hasil pengukuran:
1.	Ujung terhubung-singkat ( <i>short-circuit</i> )	$Z_{in}^{sc} = \dots\dots\dots \Omega$
2.	Ujung terbuka ( <i>open-circuit</i> )	$Z_{in}^{oc} = \dots\dots\dots \Omega$

### 1.5.2 Pengukuran Redaman Saluran Transmisi

- (1) Gambar 1-4 menunjukkan skema dari percobaan dari pengukuran redaman saluran transmisi dari *Tranier Transmission Line DL 2597*. Tutuplah pada ujung akhir dari saluran dengan beban  $R_t = 68 \Omega$ .
- (2) Pada bagian awal saluran, hubungan dengan signal generator gelombang sinus, dan  $R_i = 50 \Omega$ , agar keadaannya sesuai dengan impedansi saluran transmisi.
- (3) Catulah dengan sinyal sinusida dari generator sebesar 3 V rms, dengan frekuensi 50 KHz.
- (4) Dengan menggunakan multimeter, ukurlah tegangan  $V_1$  pada ujung generator ( $X = 0$  m);  $V_2$  pada titik  $X = 10$  m;  $V_3$  pada  $X = 25$  m;  $V_4$  pada  $X = 50$  m;  $V_5$  pada titik  $X = 75$  m, dan  $V_6$  pada titik  $X = 100$  m. Isikan hasilnya pada Tabel 1-1 di bawah ini.



**Gambar 4.2:** Rangkaian pengukuran redaman saluran transmisi



**Tabel 1-2:** Hasil pengukuran redaman saluran transmisi

No.	Posisi pengukuran:	Hasil pengukuran (mV):	Redaman (dB): $20 \log (V_n/V_1)$ ; $n= 1,2, \dots,5$
1.	X = 0 m	$V_1 = \dots\dots\dots$	-----
2.	X = 25 m	$V_2 = \dots\dots\dots$	
3.	X = 50 m	$V_3 = \dots\dots\dots$	
4.	X = 75 m	$V_4 = \dots\dots\dots$	
5.	X = 100 m	$V_5 = \dots\dots\dots$	

## 1.6 TUGAS-TUGAS

- (1) Berdasarkan Tabel 1-1, hitunglah impedansi karakteristik saluran transmisi dengan menggunakan rumus:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}^{sc} Z_{in}^{oc}}$$

Dan bandingkan hasilnya dengan impedansi input yang tertera di manual trainer tersebut.

- (2) Lengkapi harga redaman pada Tabel 1-2 dalam satuan desibel, serta buatlah grafik redaman (dB) terhadap panjang saluran (m).
- (3) Berilah kesimpulan dari percobaan ini.

## 1.7 DAFTAR PUSTAKA

- [1] ....., *Trainer for The Study of Transmission Line DL 2597*, DeLorenzo Instruments Ltd, Itali.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.

# Percobaan 2

## Pengenalan “Waveguide” sebagai Saluran Transmisi Gelombang Mikro

### 2.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah memahami dasar-dasar pengukuran menggunakan *waveguide* sebagai saluran transmisi untuk menyalurkan energi gelombang mikro (*microwave*), tepatnya pada frekuensi band-X.

### 2.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Mengenal beberapa komponen *waveguide* dan penggunaan dalam pengukuran frekuensi radio.
- ✓ Melakukan pengukuran frekuensi kerja gelombang menggunakan *cavity wavemeter*.
- ✓ Melakukan pengukuran panjang gelombang  $\lambda_g$  menggunakan *slotted line*.
- ✓ Menjelaskan arti dari frekuensi *cut-off* dan panjang gelombang *cut-off* dari *waveguide*.

### 2.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

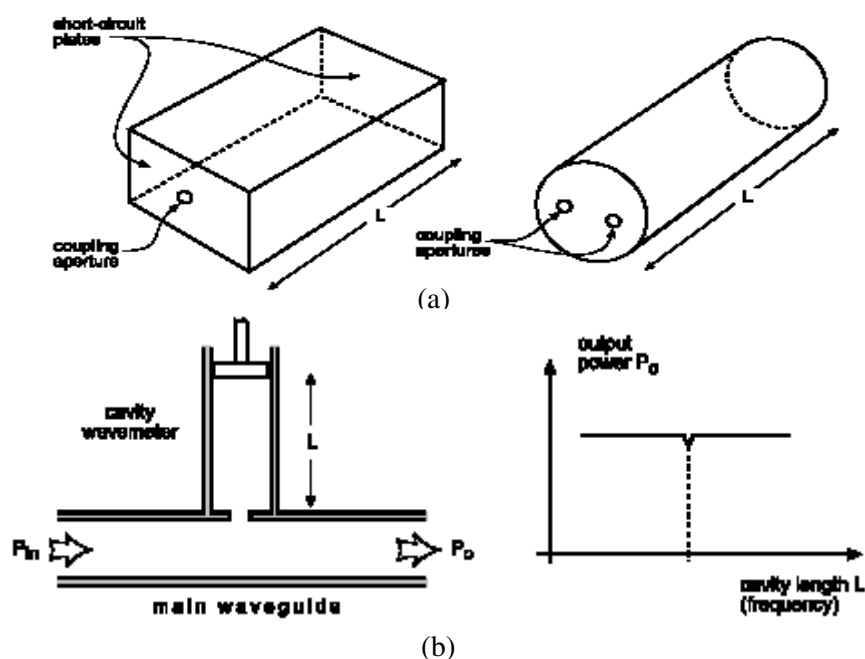
Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	2 unit
<i>Waveguide slotted line</i>	B	1 unit
<i>Cavity wavemeter</i>	D	1 unit
<i>Diode detector</i>	M	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>X-band microwave source</i>	P	1 unit
<i>Probe- detector assembly</i>	S	1 unit
Lempengan <i>short-circuit</i>	R	1 unit

## 2.4 TEORI DASAR

### 2.4.1 Pengukuran Frekuensi Gelombang Mikro Menggunakan *Cavity Wavemeter*

Frekuensi dari gelombang mikro dapat diukur menggunakan teknik *counter* elektronik atau dalam hal ini adalah *cavity wavemeter*. Prinsip kerja dari *cavity* ini berdasarkan pada prinsip resonansi-Q pada logam *cavity waveguide*. Penampang *cavity* tersebut umumnya berbentuk lingkaran atau persegi, dan panjang sumbunya sama dengan kelipatan dari setengah panjang gelombang dalam *waveguide*.



**Gambar 2-1:** *Cavity wavemeter*; (a) *cavity waveguide* persegi dan lingkaran dengan panjang  $L = \frac{1}{2}n\lambda_g$ ; (b) *cavity wavemeter* sebagai penyerap gelombang mikro

Dengan melihat Gambar 2-1(a), panjang sumbu *cavity* dinyatakan dengan:

$$L = \frac{1}{2} n \lambda_g \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:  $\lambda$  = panjang aksial *cavity*;  $n = 1, 2, 3, \dots$ , orde resonansi;  $\lambda_g$  = panjang gelombang dalam *waveguide*.

Gambar 2-1(b) menunjukkan mekanisme kerja dari *cavity* sebagai bentuk *wavemeter* menggunakan metode penyerapan gelombang. Panjang *cavity*  $L$  dapat diubah

dengan mengubah posisi ujung plat *short-circuit*. Pada kondisi tidak resonansi, hampir tidak ada daya yang masuk pada *cavity* dan semua daya ditransmisikan pada *waveguide* utama. Tetapi pada saat kondisi resonansi, sebagian daya masuk ke *cavity*, sehingga daya pada *waveguide* utama mengalami pengurangan. Hal ini dapat ditunjukkan terlihatnya penurunan penunjukan meter ukur secara mendadak. Dengan mengetahui panjang *cavity*  $L$ , orde resonansi maka frekuensi sumber  $f$  dapat dihitung dengan rumus:

$$f = 3 \times 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_g}\right)^2 + \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2}$$

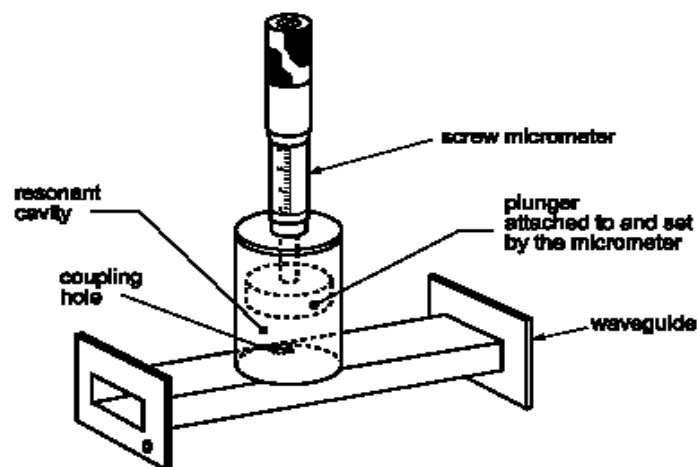
atau:

$$f = 3 \times 10^8 \sqrt{\left(\frac{n}{2L}\right)^2 + \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :  $\lambda_c$  = panjang gelombang *cut-off* mode resonansi pada *cavity*;  $n$  = orde resonansi ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

Sketsa *cavity wavemeter* yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 2-2. *Cavity* tersebut terdiri dari *waveguide* lingkaran dengan diameter  $D = 28,3$  mm. Panjangnya dapat diatur sampai mencapai maksimum 22 mm. Pada range frekuensi band-X, *cavity* hanya dapat menyalurkan dua mode, yaitu mode  $H_{11}$  dan mode  $E_{01}$ , dengan panjang gelombang *cut off* yang dinyatakan dengan:

$$\text{Untuk } H_{11} \rightarrow \lambda_c = 1,71 D \quad \text{dan} \quad E_{01} \rightarrow \lambda_c = 1,31 D$$



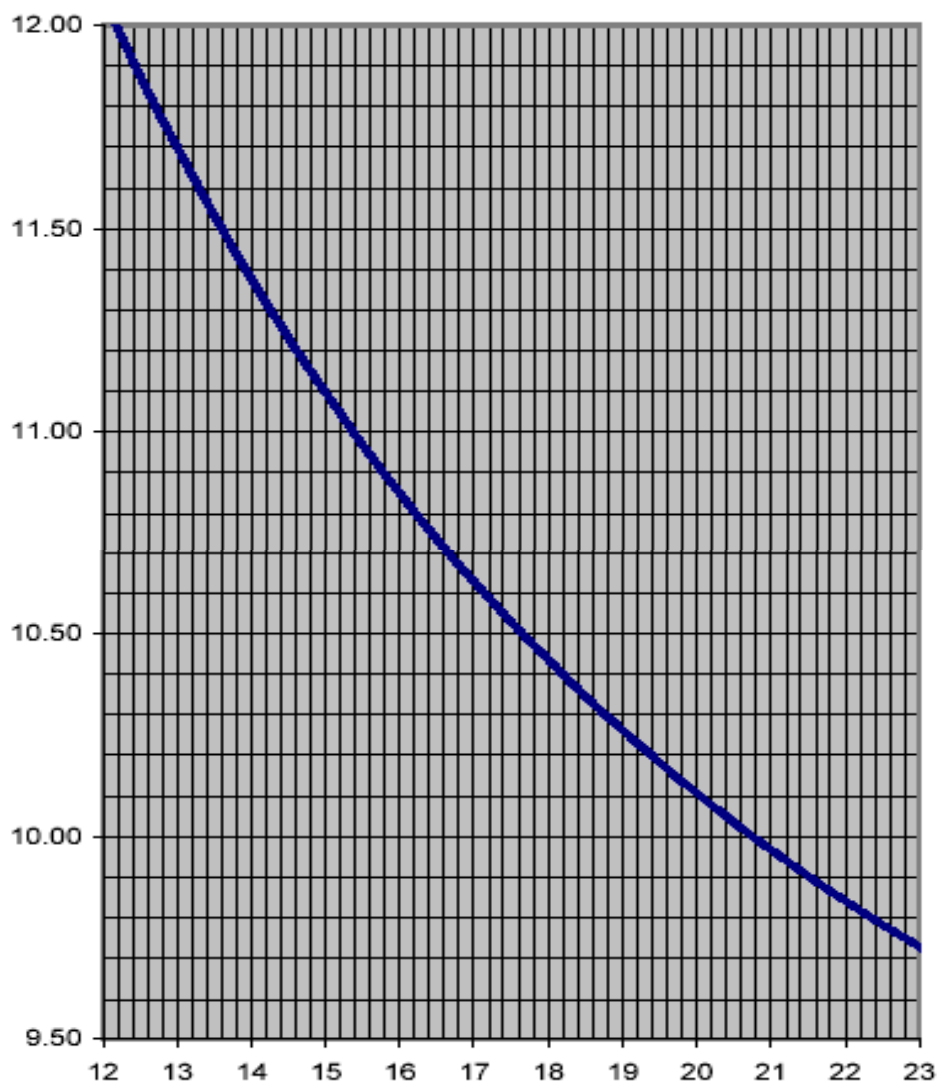
**Gambar 2-2:** Sketsa *cavity wavemeter* yang digunakan dalam *trainer microwave*

Dengan demikian, jika  $D = 28,3$  mm, maka panjang gelombang dan frekuensi *cut-off* dalam *waveguide* menjadi:

$$H_{11} \rightarrow \lambda_c = 48,4 \text{ mm}; \quad f_c = 6,2 \text{ GHz.}$$

$$E_{01} \rightarrow \lambda_c = 37,1 \text{ mm}; \quad f_c = 8,1 \text{ GHz.}$$

Grafik konversi frekuensi resonansi terhadap pembacaan *microhead* pada *wavemeter* untuk resonansi orde pertama pada mode  $H_{11}$  dan  $E_{01}$ , dapat dilihat pada Gambar 2-3. Sedangkan, *wavemeter* yang digunakan pada trainer *microwave* dirancang beroperasi pada mode  $E_{01}$ .



**Gambar 2-3:** Grafik konversi frekuensi resonansi vs pembacaan *microhead* pada *wavemeter*

### 2.4.2 Panjang Gelombang *Waveguide* dan Metode Pengukurannya

Panjang gelombang  $\lambda$  dari gelombang elektromagnetik yang berpropagasi dalam ruang bebas (udara) membentuk muka gelombang (*wavefront*), mempunyai kecepatan  $c = 3 \times 10^8$  m/detik dan besarnya berbanding terbalik dengan frekuensi gelombang  $f$  (Hz):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Tetapi, jika gelombang dipandu dalam *waveguide*, maka gelombang tersebut akan membentuk pola tertentu sebagai mode tertentu, dengan panjang gelombang yang berbeda panjang gelombang di udara. Panjang gelombang dalam *waveguide* disimbolkan dengan  $\lambda_g$ . Untuk *waveguide* persegi dan *waveguide* lingkaran,  $\lambda_g$  dinyatakan dengan:

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda \lambda_g}{\sqrt{(\lambda_c^2 - \lambda_0^2)}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

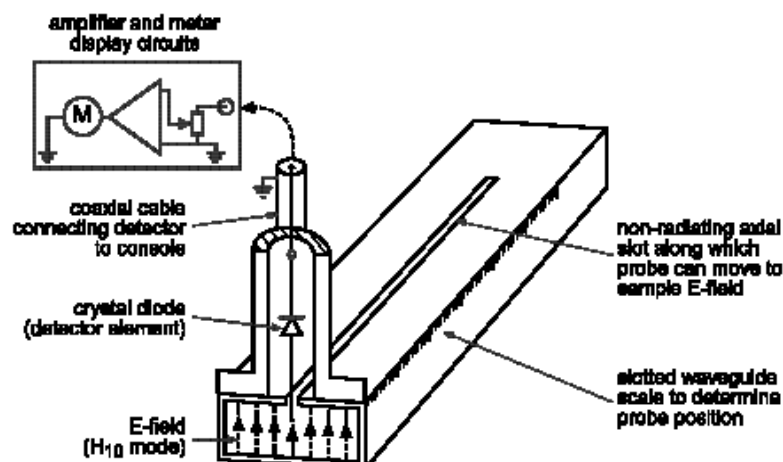
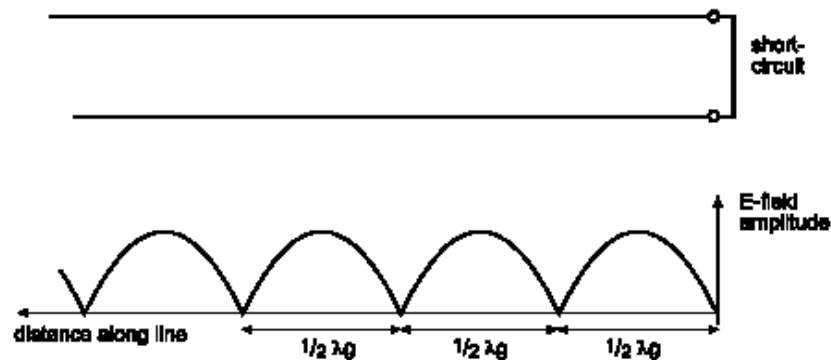
dimana  $\lambda_c$  = panjang gelombang *cut-off* dari mode propagasi.

Untuk *waveguide* persegi, jika digunakan untuk mode dominan  $H_{10}$ , maka panjang gelombang *cut-off* dinyatakan dengan:

$$\lambda_c = 2a \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana  $a$  = panjang penampang *waveguide*. Dengan mengetahui frekuensi kerja gelombang mikro  $f$ , maka panjang gelombang *waveguide*  $\lambda_g$  dapat dihitung dengan Pers.(2.5).

Panjang gelombang *waveguide* dapat diukur menggunakan *slotted waveguide* dan komponen *probe detector*, yang secara skematik ditunjukkan pada Gambar 2-4. Dengan memberi plat *short-circuit* pada ujung akhirnya, maka akan terjadi pola gelombang berdiri dalam *waveguide*, seperti pada Gambar 2-5. (Catatan: Penjelasan gelombang berdiri lebih lanjut akan diberikan pada Percobaan 4). Jarak antara dua titik *null* yang berdekatan, merupakan setengah dari panjang gelombang *waveguide* atau  $\frac{1}{2} \lambda_g$ .

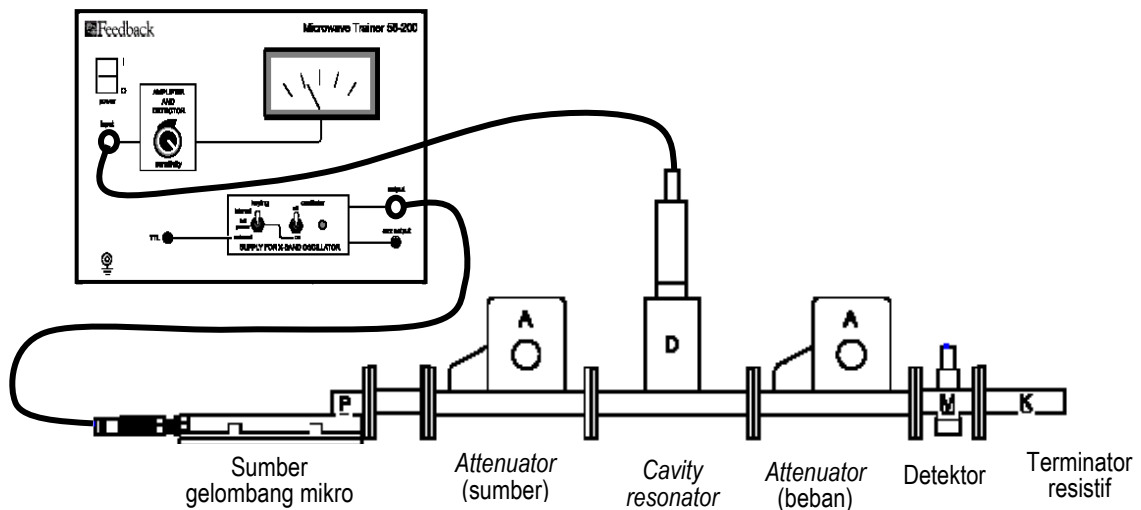
Gambar 2-4: Skema dari *slotted waveguide* persegiGambar 2-5: Pola medan listrik dari gelombang berdiri pada *waveguide* ujungnya di hubung-singkat (*short-circuit*)

## 2.5 PROSEDUR PERCOBAAN

### 2.5.1 Pengukuran Frekuensi menggunakan *Cavity Wavemeter*

(1) Rangkailah seperti Gambar 2-6 di bawah ini, dengan posisi saklar pada konsol kontrol awal sebagai berikut:

- Saklar daya utama hijau : *off*.
- Amplifier dan sensitivitas knob kontrol detektor : ke posisi tengah;
- Suplai daya osilator gelombang mikro: saklar ke kiri: saklar ke internal keying;
- Saklar kanan : *off*.



**Gambar 2-6:** Rangkaian pengukuran frekuensi kerja gelombang mikro

- (2) Pastikan bahwa kabel koaksial telah terhubung dengan suplai daya osilator gelombang mikro dan menghubungkan keluaran (*output*) detektor diode ke amplifier dan masukan (*input*) detektor pada konsol.
- (3) Aturlah posisi *microhead* dari *cavity wavemeter* penuh untuk mendapatkan pembacaan lebih dari 21 mm. Pada posisi ini, beban *short-circuit* pada ujung akhir *cavity* juga penuh dan panjang *cavity* dalam keadaan maksimum.
- (4) Aturlah posisi sudut dari resistif *vane* untuk kedua *attenuator* pada kira-kira  $20^\circ$ . Pada posisi ini, *attenuator* meredam daya gelombang mikro sekitar 10 dB dan hati-hatilah terhadap kemungkinan pembacaan meter ukur yang berlebihan pada saat saklar pada posisi “on”.
- (5) Sekarang, saklar daya utama hijau pada posisi “on”, dan suplai ke arah kanan agar daya gelombang mikro mengalir pada sistem.
- (6) Aturlah *attenuator* yang dekat dengan detektor untuk mendapatkan pembacaan meter ukur sekitar 4 mA. Sebagai catatan, dengan meningkatkan masuknya kedalaman *vane* ke dalam *waveguide*, maka daya gelombang mikro yang mengalir pada rangkaian akan berkurang.
- (7) Untuk mengukur frekuensi menggunakan *wavemeter*, putarlah bagian atas *micrometer wavemeter* secara perlahan-perlahan searah jarum jam untuk menurunkan/mengubah

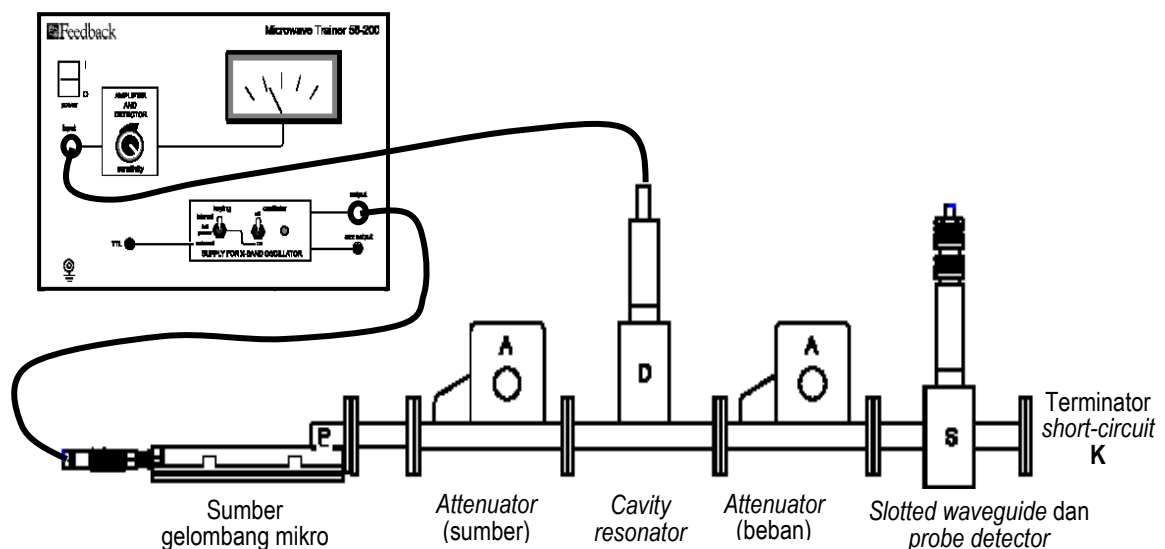


posisi plat *short-circuit* ke bawah, sehingga memperpendek panjang aksial *cavity*. Amati penurunan tiba-tiba pembacaan meter ukur.

- (8) Carilah posisi dimana meter ukur menunjukkan pembacaan paling rendah. Catatlah pembacaan *micrometer* pada kondisi ini, dan kalibrasilah dengan menggunakan grafik pada Gambar 2-3 untuk mendapatkan frekuensi kerja gelombang mikro (GHz).

### 2.5.2 Pengukuran panjang gelombang $\lambda_g$

- (1) Panjang gelombang *waveguide*, diukur menggunakan *slotted waveguide* (komponen B) yang dilengkapi dengan diode detektor atau *probe* (unit B). *Probe* ini dimasukkan dalam *waveguide*, untuk mendeteksi level medan listrik. Dalam praktek, kedalaman *probe* antara 1 sampai 2 mm dari permukaan.
- (2) Rangkailah seperti Gambar 2-7 dengan ujung akhir *slotted waveguide* diberi plat logam R sebagai rangkaian *short-circuit*.
- Saklar daya utama hijau : off.
  - Suplai daya osilator gelombang mikro: ke internal keying;
  - Saklar kanan osilator : off.



**Gambar 2-7:** Rangkaian pengukuran panjang gelombang dalam *waveguide*  $\lambda_g$

Pastikan bahwa kabel koaksial juga telah terhubung dengan suplai daya osilator gelombang mikro, dan menghubungkan keluaran (*output*) detektor diode ke amplifier dan masukan (*input*) detektor pada konsul.

- (3) Sekarang, saklarkan daya dan osilator, serta aturlah *attenuator* yang dekat dengan *slotted waveguide*, untuk mendapatkan pembacaan pada meter ukur. Gerakan *probe* ke lokasi tertentu, sehingga diperoleh pembacaan pada meter ukur maksimum. Setelah itu, aturlah kembali kontrol sensitivitas dan/atau *attenuator* untuk mendapatkan pembacaan meter ukur skala penuh acuan, misalnya 4 mA.
- (4) Mulailah dengan skala nol pada *slotted waveguide* berpindah ke sepanjang celah, sehingga pembacaan meter ukur berubah-ubah (maksimum-minimum, dan seterusnya).
- (5) Catatlah posisi-posisi dalam *slotted waveguide* tersebut, dimana pembacaan meter ukur menunjukkan benar-benar nol. Isilah Tabel 2.1 di bawah ini.

**Tabel 2-1:** Data pengukuran panjang gelombang

Posisi dimana penunjukkan detektor arus nol	Panjang gelombang dalam waveguide ( $\lambda_g$ )
$X_1 = \dots\dots\dots$ mm	$\lambda_g = 2 (X_2 - X_1) = \dots\dots\dots$ mm
$X_2 = \dots\dots\dots$ mm	$\lambda_g = 2 (X_3 - X_2) = \dots\dots\dots$ mm
$X_3 = \dots\dots\dots$ mm	$\lambda_g = 2 (X_4 - X_3) = \dots\dots\dots$ mm
$X_4 = \dots\dots\dots$ mm	$\lambda_g = (X_3 - X_1) = \dots\dots\dots$ mm
	$\lambda_g = (X_4 - X_2) = \dots\dots\dots$ mm

## 2.6 TUGAS-TUGAS

- (1) Dari percobaan 2.4.1 dan bantuan grafik pada Gambar 2-3, carilah frekuensi kerja dengan *cavity wavemeter* dari gelombang mikro yang sedang beroperasi.

- (2) Dengan menggunakan *frequency counter*, ukurlah frekuensi kerja gelombang mikro dan bandingkan hasilnya dengan hasil pada (1).
- (3) Hitunglah panjang gelombang dalam waveguide  $\lambda_g$  pada Tabel 2-1, kemudian carilah  $\lambda_g$  rata-ratanya.
- (4) Jika *trainer microwave* yang dipakai menggunakan standard WG16, dengan dimensi dalam  $a = 0,9$  inchi = 22,86 mm dan  $b = 0,4$  inchi = 10,16 mm, sehingga untuk mode  $H_{10}$ , panjang gelombang *cut-off*  $\lambda_c = 2a = 2 \times 22,86 \text{ mm} = 45,75 \text{ mm}$  (untuk WG16). Dengan menggunakan Pers. (2.5), hitunglah panjang gelombang dalam waveguide  $\lambda_g$ , jika frekuensi yang digunakan mengacu pada hasil pengukuran pada *frequency counter* pada bagian (2).
- (5) Berilah kesimpulan dari percobaan ini.

## 2.7 DAFTAR PUSTAKA

- [1] ....., *Trainer Microwave* 56-200, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.

# Percobaan 3

## Pengukuran karakteristik Diode Detektor Gelombang Mikro

### 3.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah mengukur karakteristik arus yang keluar dari diode detektor gelombang mikro dan membandingkan terhadap daya yang keluar dari detektor diode kristal yang digunakan dalam *Trainer Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200.

### 3.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan penggunaan diode kristal sebagai detektor gelombang mikro yang sensitif.
- ✓ Membuktikan bahwa keluaran yang dihasilkan dari diode kristal, berbanding lurus terhadap kwadrat medan listrik atau sebanding dengan daya keluaran. Hal ini dinamakan hukum kwadrat (*square law*) diode kristal hasil pengukuran.

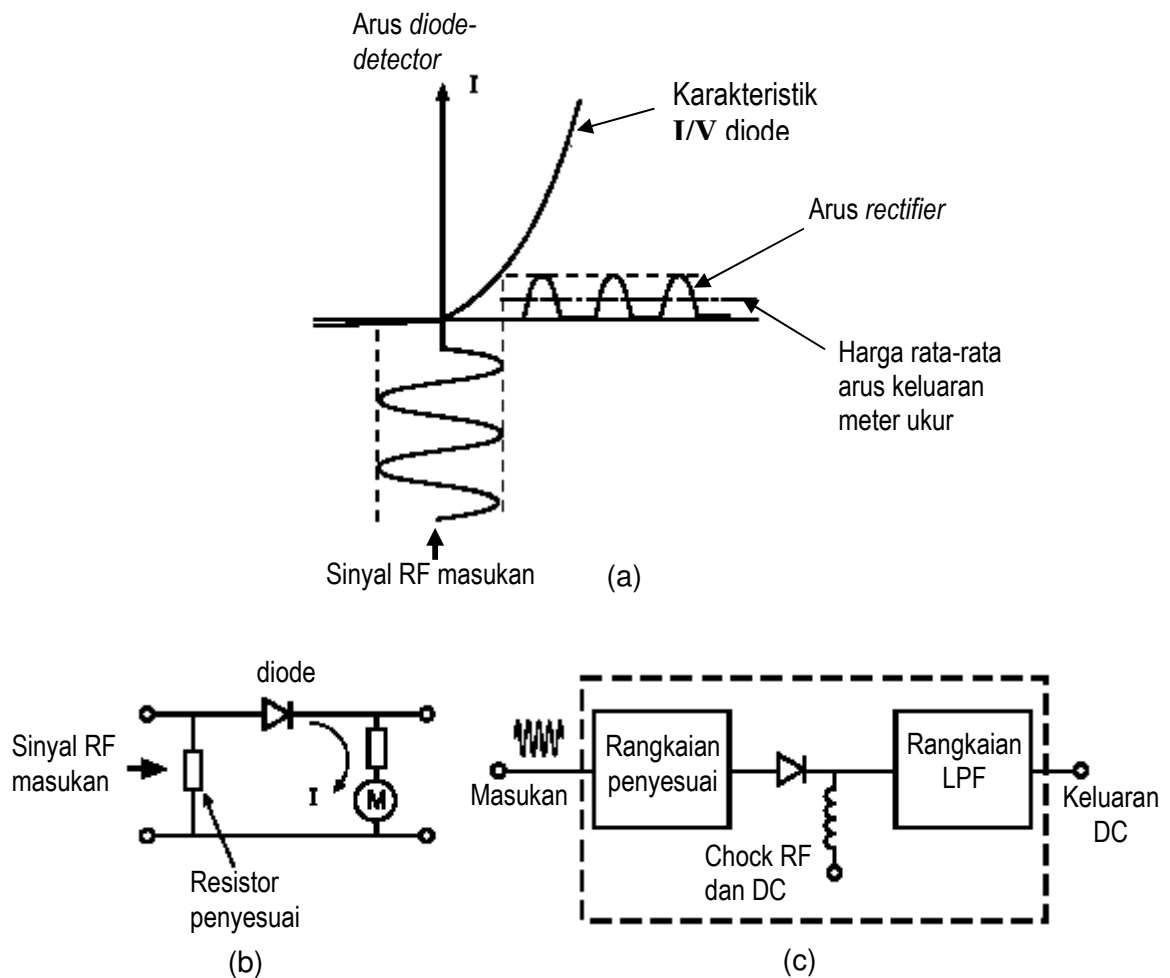
### 3.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	2 unit
<i>Waveguide slotted line</i>	B	1 unit
<i>Diode detector</i>	M	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>X-band microwave source</i>	P	1 unit
<i>Probe- detector assembly</i>	S	1 unit
Lempengan <i>short-circuit</i>	R	1 unit

### 3.4 TEORI DASAR

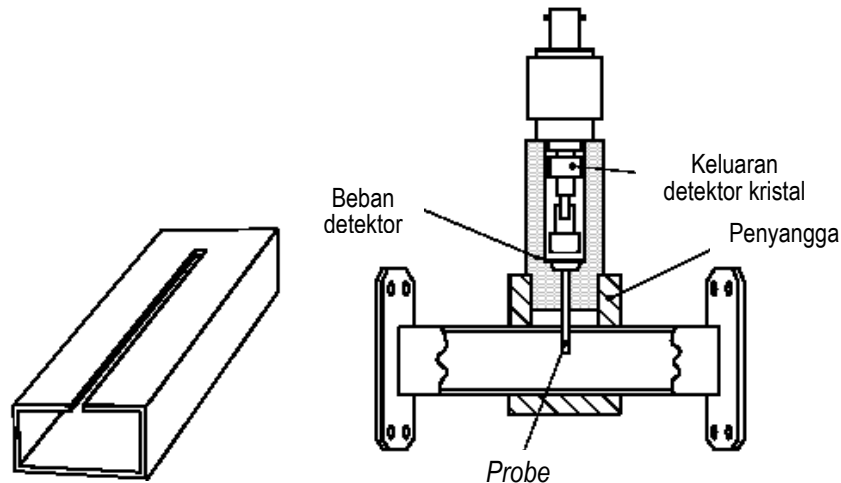
Detektor diode kristal telah digunakan secara luas sebagai detektor sinyal gelombang mikro untuk level daya rendah. Kerja dari diode dan rangkaian dasar piranti ini, ditunjukkan pada Gambar 3-1.



**Gambar 3-1:** *Diode detector*; (a) Kerja dari *diode detector* pada keluaran detektor Untuk level daya rendah; (b) Rangkaian *diode detector* sederhana; (c) Rangkaian *chock* digunakan sebagai *diode detector* praktis

Untuk level daya sampai dengan 10 mikrowatt, detektor kristal bekerja menurut hukum karakteristik kwadrat. Artinya tegangan atau arus yang keluar dari detektor tersebut, mempunyai harga yang berbanding kwadrat dengan medan listrik gelombang mikro. Sehingga dapat dikatakan, tegangan atau arus keluaran dari diode detektor tersebut, sebanding dengan daya sinyal gelombang mikro.

Dalam percobaan ini, karakteristik diode detektor diinvestigasi pada level daya yang rendah, menggunakan *slotted waveguide* dan unit *probe* diode detektor seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2. Arus detektor diukur dengan mengubah-ubah kuat medan listrik dalam *slotted waveguide* dengan ujung akhir terhubung-singkat (*short circuit*).



**Gambar 3-2:** Celah *waveguide* dan *probe* detektor untuk level daya rendah

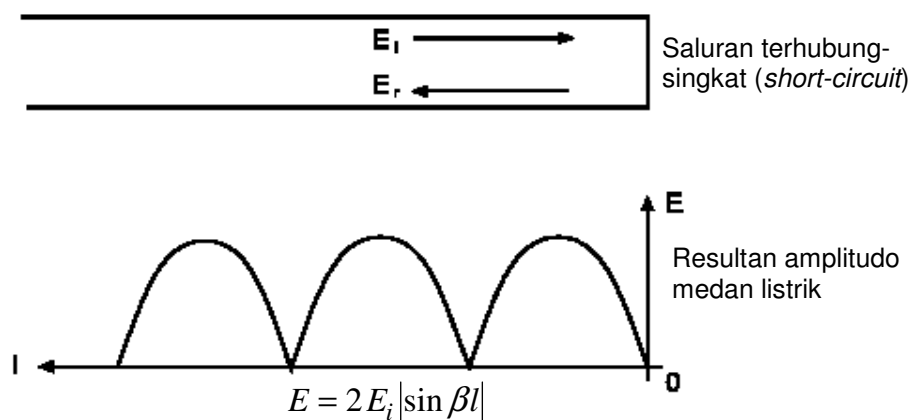
Besar kuat medan listrik sepanjang saluran, ditunjukkan pada Gambar 3-3, dan dinyatakan secara matematis sebagai:

$$E = E_i \sin \beta l \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana:  $E_i$  = amplitudo medan listrik gelombang datang,

$l$  = jarak pengamatan terhadap lempengan *short-circuit*,

$\beta = 2\pi/\lambda_g$ ;  $\lambda_g$  = panjang gelombang dalam *waveguide*.



**Gambar 3-2:** Pola amplitudo medan listrik dalam saluran yang ujungnya terbungkus-singkat

Jika diasumsikan arus rata-rata yang disearahkan oleh detektor diode, sebagaimana yang diukur pada meter ukur terhadap medan listrik dinyatakan dengan:

$$I = k E^n$$

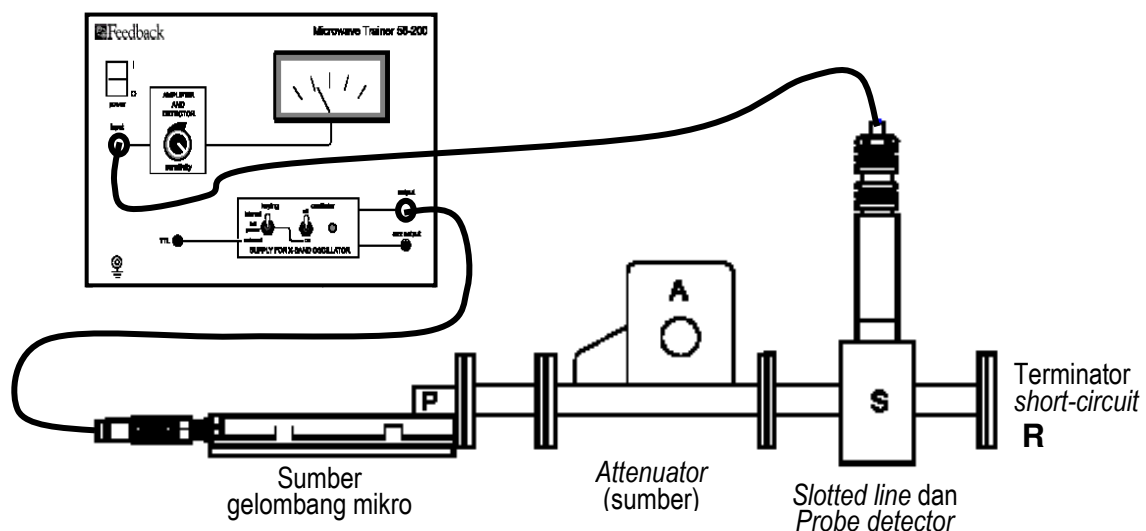
Dimana  $n$  = hukum kristal, maka arus dalam saluran *short-circuit* :

$$I = k (2E_i \sin \beta l)^n \dots\dots\dots (3.2)$$

Sehingga, jika kita ingin memetakan  $\log I$  (sumbu-y) terhadap  $\log (\sin \beta l)$ , menghasilkan gambar garis lurus dan gradien (*slope*) dari garis ini adalah 2, hukum daya diode kristal. Untuk level daya rendah,  $n = 2$  menunjukkan hasil yang benar.

### 3.5 PROSEDUR PERCOBAAN

- (1) Rangkailah seperti Gambar 3-3 di bawah ini. Ujung *slotted waveguide* diberi plat *short-circuit* dan variable attenuator diatur mula-mula pada  $0^\circ$ , yang merupakan *setting* redaman maksimum. Kedamlaman *probe* diode detektor diatur kira-kira 1 sampai 2 mm. Hal ini untuk memastikan bahwa medan listrik dalam celah *waveguide* tidak terganggu. Meskipun level daya rendah, tetapi masih dapat terdeteksi oleh diode detektor.



**Gambar 3-3:** Rangkaian pengukuran karakteristik diode detektor gelombang mkiro

- (2) Posisi saklar pada konsul kontrol awal sebagai berikut:
- Amplifier dan sensitivitas knob kontrol detektor : ke posisi tengah.
  - Saklar kanan : *off*.
  - Sekarang saklar daya utama hijau : *on*, suplai daya osilator gelombang mikro: saklar ke kanan.
- (4) Aturlah posisi sudut dari resistif *vane* pada *attenuator* pada dari  $0^\circ$  sampai terjadi defleksi pada penunjukkan meter ukur. Geserlah detektor sepanjang celah *waveguide* untuk mendapatkan letak medan listrik maksimum, yang ditunjukkan pada pembacaan meter ukur maksimum. Posisi ini merupakan medan listrik maksimum yang dihasilkan oleh pola gelombang berdiri dalam *slotted waveguide* dari gelombang datang dan gelombang pantul dengan ujung terhubung-singkat (*short-circuit*).
- (5) Selanjutnya, jika diperlukan aturlah *attenuator*, agar sensitivitas amplifier detektor kontrol menghasilkan pembacaan yang maksimum pada skala penuh yang ada.
- (6) Selanjutnya, gerakkan *probe* sepanjang *slotted waveguide* dan letakkan secara akurat pada posisi dimana medan listriknya nol. Pada lokasi ini, detektor arus menunjukkan harga nol. Dengan menggunakan titik ujung akhir *short-circuit* dari *slotted line* sebagai referensi, mulailah mengambil beberapa sampel data dari pembacaan arus deteksi pada posisi medan listrik nol.
- (7) Untuk mendapatkan panjang gelombang dalam *waveguide*  $\lambda_g$ , cukup dengan mengukur tiga posisi yang berdekatan, dimana pembacaan medannya nol. Carilah tiga posisi tersebut.

Posisi nol pertama,  $L_1$  = .....

Posisi nol kedua,  $L_2$  = .....

Posisi nol ketiga,  $L_3$  = .....



- (8) Hitunglah harga  $\log I$  dan  $\log (\sin \beta l)$ , dan masukkan hasilnya dalam Tabel 3-1 berikut ini.

**Tabel 3-1:** Data hasil pengukuran dan perhitungan (langkah 8)

Jarak $l$	$\beta l = 2\pi/\lambda_g$ $= 360 l/\lambda_g$	$\sin \beta l$	$\log (\sin \beta l)$	Deteksi arus I (mA)	Log I
0	0	0	---	0	---

### 3.6 TUGAS-TUGAS

- (1) Carilah panjang gelombang dalam *waveguide*  $\lambda_g$  berdasarkan data yang diperoleh dari langkah (7), dengan metode:
 
$$\begin{aligned}\lambda_g &= 2 (L_2 - L_1) = \dots\dots\dots \\ &= 2 (L_3 - L_2) = \dots\dots\dots \\ &= L_3 - L_1 = \dots\dots\dots\end{aligned}$$
- (2) Lengkapilah Tabel 3-1, dengan mengisi harga  $\log (\sin \beta l)$  dan  $\log I$  untuk semua data yang telah diperoleh.
- (3) Petakan grafik  $\log I$  (sumbu-y) terhadap  $\log (\sin \beta l)$ , dan gambarkan hasilnya serta prediksilah sebagai garis lurus di antara titik-titik itu. Ukurlah gredien (*slope*) dari garis ini, dan angaplah ini sebagai harga  $n$  (harga  $n$  mempunyai harga mendekati 2).
- (4) Berilah kesimpulan dari percobaan ini.

### **3.7 DAFTAR PUSTAKA 7**

- [1] ....., *Trainer Microwave 56-200*, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Prentice Hall International, Inc., 2001.



# Percobaan 4

## Deteksi Tegangan Gelombang Berdiri dan Pengukuran VSWR

### 4.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah mendeteksi fenomena tegangan gelombang berdiri (*standing wave*) pada *waveguide* dan mengukur besarnya rasio tegangan gelombang berdiri dari bermacam-macam beban, yang lebih dikenal dengan *voltage standing wave ratio* (VSWR).

### 4.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan definisi *voltage standing wave ratio* (VSWR) dan hubungannya dengan koefisien refleksi.
- ✓ Melakukan pengukuran VSWR menggunakan *slotted line* dan *probe detector*.
- ✓ Menjelaskan metode yang digunakan untuk mengukur nilai VSWR yang besar.

### 4.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

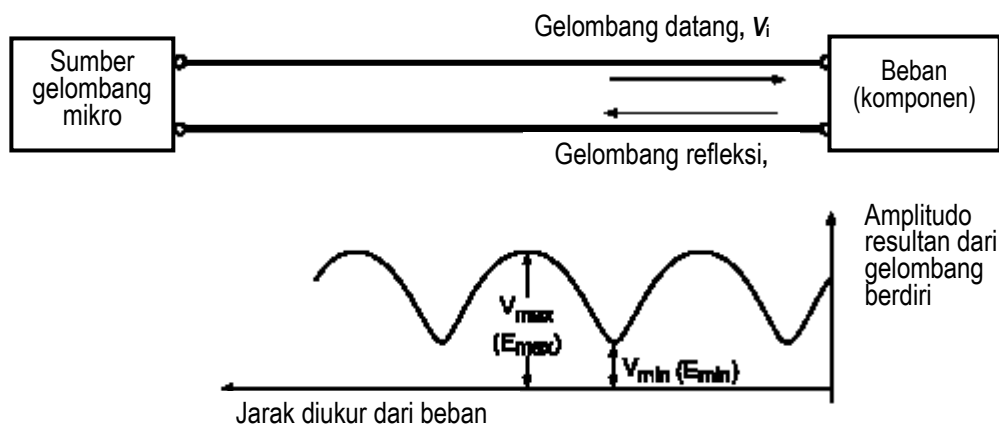
Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	2 unit
<i>Waveguide slotted line</i>	B	1 unit
<i>Probe-diode detector</i>	S	1 unit
<i>X-band oscillator source</i>	P	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>Waveguide horn</i>	N	1 unit

#### 4.4 TEORI DASAR

##### Pengertian Gelombang Bediri

Jika suatu komponen beban dihubungkan pada saluran transmisi, maka akan menyebabkan pantulan gelombang, jika beban tersebut tidak benar-benar dalam kondisi sesuai (*match*) dengan saluran. Gelombang refleksi (*reflective wave*) dari komponen tersebut dan gelombang datang (*incident wave*) dari suatu sumber tersebut, akan membentuk pola gelombang berdiri (*standing wave*), seperti diilustrasikan pada Gambar 4-1.



**Gambar 4-1:** Pola gelombang berdiri:  $VSWR = V_{max}/V_{min} = E_{max}/E_{min}$

Adanya gelombang berdiri, menyebabkan transfer daya dari sumber ke beban melalui saluran transmisi tidak dapat berjalan secara optimal. Karena adanya daya gelombang yang direfleksikan oleh beban. Suatu besaran yang menyatakan derajat ketidaksesuaian (*mismatch*) tersebut, dinyatakan dengan rasio tegangan gelombang berdiri atau *voltage standing wave ratio* (VSWR), yang disimbolkan dengan  $S$  dan didefinisikan dengan:

$$S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{E_{max}}{E_{min}} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana :  $V_{max}$ ,  $E_{max}$  = tegangan atau kuat medan listrik pada posisi medan maksimum.

$V_{min}$ ,  $E_{min}$  = tegangan atau kuat medan listrik pada posisi medan minimum.

Ada hubungan yang penting antara  $S$  dan koefisien refleksi  $\Gamma$  :

$$\Gamma = V_r/V_i \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana:  $V_i$  = amplitudo tegangan atau medan listrik datang, dan

$V_r$  = amplitudo tegangan atau medan listrik refleksi.

Dan jika:  $V_{\max} = V_i + V_r = V_i (1 + \Gamma)$  dan  $V_{\min} = V_i + V_r = V_i (1 - \Gamma)$ , maka:

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

atau:

$$\Gamma = \frac{S - 1}{S + 1} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Tabel 4-1 di bawah ini, memberi gambaran hubungan antara VSWR dan koefisien refleksi  $\Gamma$  dan daya refleksi untuk beberapa kondisi.

**Tabel 4-1:** Hubungan antara VSWR dan koefisien refleksi  $\Gamma$  dan daya refleksi

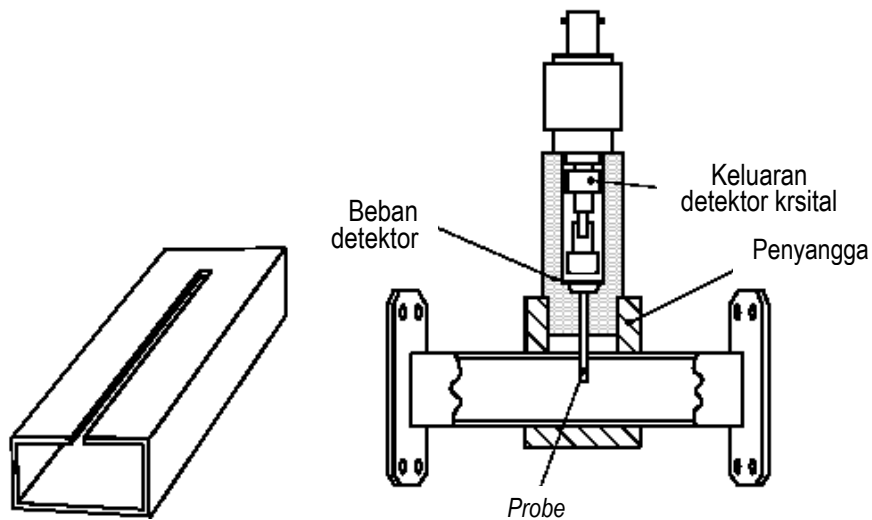
VSWR; $S$	Koefisien refleksi $\Gamma$	% daya refleksi $\Gamma^2$ %	Keterangan:
1,0	0	0	Sistem sesuai ( <i>match</i> )
1,05	0,048	0,22	Sangat bagus
1,5	0,2	4,0	Diterima
2,0	0,33	11,1	Disarankan diperbaiki
5,0	0,67	44,4	Ditolak

Dalam praktek, rasio tegangan gelombang berdiri dapat diperoleh dengan menggunakan *slotted line* dan *probe-diode detector*. Unit ini akan mengambil sampel medan listrik dan mengkopelnya menjadi arus yang akan terbaca pada DC millimeter. Perubahan nilai arus ini berbanding lurus dengan kwadrat perubahan medan listrik yang menginduksi *probe*, sehingga VSWR  $S$  dalam pengukuran dinyatakan dengan:

$$S = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{\sqrt{I_{\max}}}{\sqrt{I_{\min}}} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

dimana:  $I_{\max}$  = arus yang terukur pada medan maksimum  $(E_{\max})^2$ .

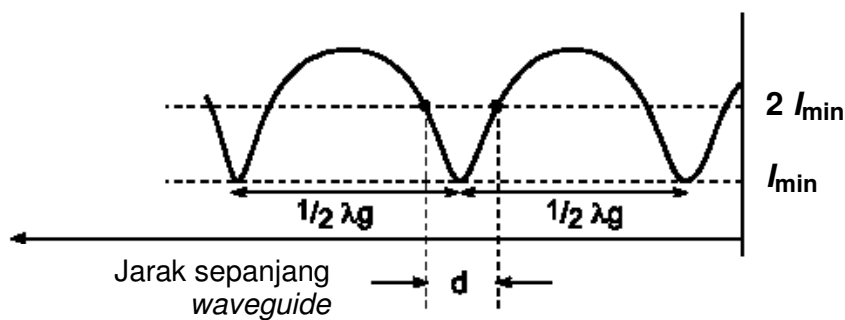
$I_{\min}$  = arus yang terukur pada medan minimum  $(E_{\min})^2$ .



**Gambar 4-2:** Celah *waveguide* dan *probe* detektor untuk mengukur VSWR

Untuk harga VSWR yang besar,  $S > 3$ ,  $E_{\min}$  yang terdeteksi relatif kecil, sehingga arus yang terdeteksi juga relatif sangat kecil. Akibatnya, perbandingan antara  $E_{\max}$  dan  $E_{\min}$  tidak akurat. Untuk itu, VSWR yang dicari dengan rumusan berikut:

$$S = \sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \left( \frac{\pi d}{\lambda_g} \right)}} \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

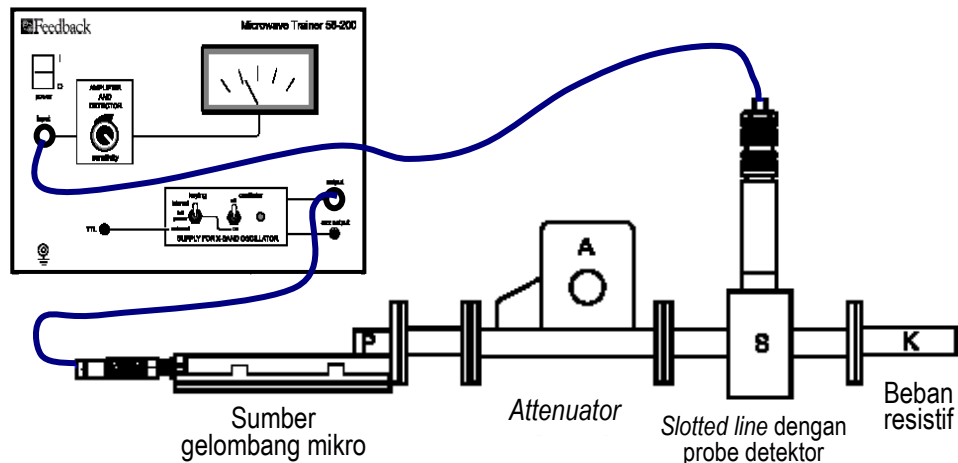


**Gambar 4-3:** Ilustrasi metode pengukuran VSWR berharga tinggi

Dimana:  $d$  = jarak antara 2 titik dimana medan  $E = \sqrt{2} E_{\min}$  atau  $E = \sqrt{2} E_{\min}$  dan  $\lambda_g$  = panjang gelombang *waveguide*.

#### 4.5 PROSEDUR PERCOBAAN

- (1) Rangkailah seperti Gambar 4-4 di bawah ini. Beban *waveguide* yang akan diukur VSWR-nya dihubungkan dengan ujung *slotted line*. Beban yang hendak diukur di sini adalah komponen K.



**Gambar 4-4:** Rangkaian pengukuran VSWR dengan beban resistif

- (2) Aturlah *attenuator* kira-kira  $25^\circ$  untuk menghasilkan harga redaman yang sesuai, kemudian saklarkan sumber gelombang mikro band-X ke internal “keying” dan amatilah penunjukkan meter ukur untuk mendeteksi keberadaan gelombang mikro.
- (3) Geserlah detektor sepanjang celah *waveguide* untuk mendapatkan letak dan besar medan listrik maksimum. Aturlah sensitivitas detektor amplifier untuk menghasilkan pembacaan antara 3 sampai 4 mA. Jika perlu, aturlah *attenuator*nya.
- (4) Untuk memperoleh harga VSWR saluran, geserlah detektor mulai dari celah dekat ujung beban sampai ke kiri sepanjang *waveguide*, sehingga diperoleh arus maksimum dan minimum di beberapa tempat.
- (5) Gantilah untuk mengukur VSWR beban-beban yang lain: antena horn 1, antena lain (mintalah petunjuk instruktur).
- (6) Berdasarkan langkah (1) sampai (5), masukkan hasilnya Tabel 4-2 di bawah ini.



**Tabel 4-2:** Hasil pengukuran VSWR

No.	Beban:	Penunjukan arus maksimum:	Penunjukan arus minimum:
1.	Terminator resistif	$I_{\max} = \dots\dots\dots$	$I_{\min} = \dots\dots\dots$
2.	Antena horn	$I_{\max} = \dots\dots\dots$	$I_{\min} = \dots\dots\dots$
3.	Beban lain	$I_{\max} = \dots\dots\dots$	$I_{\min} = \dots\dots\dots$

- (7) Gantilah beban resistif dengan plat *short circuit*. Dengan demikian, ujung *slotted line* kini dalam keadaan terhubung singkat (*short circuit*).
- (8) Aturlah redamannya, sehingga penunjukkan meter ukur pada posisi yang cukup (*mid-scale*).
- (9) Carilah posisi medan listrik minimum dengan menggeser *probe detector* sepanjang celah saluran, mulailah dari dekat ujung beban ke arah sumber. Catatlah posisi ini sebagai  $I_{\min}$ .
- (10) Selanjutnya, geserlah *probe detector* ke kanan sampai meter ukur menunjukkan angka 2 kali  $I_{\min}$  (sehubungan dengan  $k_2 = 2$ ). Catatlah posisi sebagai  $X_1$ .
- (11) Kemudian, geserlah *probe detector* ke kiri, juga sampai meter ukur menunjukkan angka 2 kali  $I_{\min}$ . Catatlah posisi sebagai  $X_2$ .
- (12) Ukur juga panjang gelombang pada *waveguide*, dengan cara mencari dua posisi titik minimum yang berdekatan, catat sebagai  $X_{\min 1}$  dan  $X_{\min 2}$  (ingat:  $\lambda_g = 2 \times$  jarak poisisi titik yang berdekatan, dimana medan listriknnya minimum).
- (13) Ulangi langkah (7) sampai dengan (12) dengan membiarkan ujung *waveguide* terbuka (beban terbuka).
- (14) Berdasarkan langkah (7) sampai (13) di atas, isilah Tabel 4-3 di bawah ini.

**Tabel 4-3:** Hasil pengukuran VSWR beban hubung-singkat dan terbuka

No.	Beban:	Data pengukuran:	Perhitungan:
1.	Ujung dihubung-singkat ( <i>short-circuit</i> )	$X_1 = \dots\dots\dots \text{ mm}$ $X_2 = \dots\dots\dots \text{ mm}$  $X_{\min 1} = \dots\dots\dots \text{ mm}$ $X_{\min 2} = \dots\dots\dots \text{ mm}$	$d =  X_1 - X_2 $ $= \dots\dots\dots \text{ mm}$  $\lambda_g =  X_{\min 1} - X_{\min 2} $ $= \dots\dots\dots \text{ mm}$
2.	Ujung terbuka ( <i>open-circuit</i> )	$X_1 = \dots\dots\dots \text{ mm}$ $X_2 = \dots\dots\dots \text{ mm}$  $X_{\min 1} = \dots\dots\dots \text{ mm}$ $X_{\min 2} = \dots\dots\dots \text{ mm}$	$d =  X_1 - X_2 $ $= \dots\dots\dots \text{ mm}$  $\lambda_g =  X_{\min 1} - X_{\min 2} $ $= \dots\dots\dots \text{ mm}$

#### 4.6 TUGAS-TUGAS

- (1) Berdasarkan Tabel 4-2 dan dengan menggunakan Pers. (4.5), hitunglah VSWR saluran, jika ujung akhir *waveguide* diberi beban: terminator resistif, antena horn dan beban lain (ditentukan).
- (2) Berdasarkan Tabel 4-3 dan dengan menggunakan Pers. (4.6), hitunglah VSWR saluran, jika ujung akhir *waveguide* dihubung-singkat dan ujung akhir terbuka.
- (3) Berilah kesimpulan dari percobaan ini.

#### 4.7 DAFTAR PUSTAKA

- [1] ....., *Trainer Microwave* 56-200, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.

# Percobaan 5

## Pengukuran Impedansi dan Penyesuaian Impedansi Saluran Transmisi

### 5.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah memahami cara pengukuran impedansi menggunakan *slotted line* dan Peta Smith (*Smith Chart*), serta dapat melakukan penyesuaian impedansi (*matching impedance*) menggunakan komponen *waveguide* sebagai saluran transmisi.

### 5.2 SASARAN

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan cara mengukur impedansi ternormalisasi, dengan mengukur VSWR dan posisi medan listrik atau tegangan minimum menggunakan pola gelombang berdiri (*standing wave*).
- ✓ Menggunakan probe *slotted line* dalam penyesuaian impedansi (*matching impedance*).
- ✓ Menggunakan Peta Smith untuk menentukan harga impedansi beban ternormalisasi dan proses penyesuaian impedansi (*matching impedance*).

### 5.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	1 unit
<i>Waveguide slotted line</i>	B	1 unit
<i>Slotted line probe tuner</i>	C	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>X-band oscillator source</i>	P	1 unit
<i>Probe-diode detector</i> yang digunakan bersama <i>slotted line</i>	S	1 unit
Lempengan <i>short-circuit</i>	R	1 unit

## 5.4 TEORI DASAR

### 5.4.1 Impedansi Input Ternormalisasi dan Koefisien Refleksi Suatu Beban

Impedansi input suatu saluran transmisi, merupakan impedansi saluran transmisi yang terukur pada jarak tertentu dari beban. Impedansi ini bervariasi tergantung dari beban, impedansi karakteristik saluran dan jarak pengukuran. Berdasarkan teori, besarnya impedansi input saluran transmisi dinyatakan dengan:

$$Z_{in}(l) = \frac{V(l)}{I(l)} = Z_0 \frac{Z_T + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_T \tan \beta l} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

dimana:  $l$  = panjang saluran transmisi;  $\beta = 2\pi/\lambda_g$  = konstanta fasa saluran transmisi;  $\lambda_g$  = panjang gelombang dalam saluran transmisi.

Untuk kabel koaksial, besarnya impedansi karakteristik  $Z_0$  yang sering digunakan untuk pengukuran rangkaian RF adalah  $75 \Omega$  atau  $50 \Omega$ . Tetapi untuk *waveguide*, besarnya impedansi karakteristik sulit diketahui secara pasti. Untuk mengatasi kesulitan itu, dalam pengukuran ini besarnya impedansi input dinormalisasi terhadap  $Z_0$ , dan disebut dengan **impedansi input ternormalisasi**, yang dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} Z_{in}(l) &= \frac{Z_{in}(l)}{Z_0} \\ &= \frac{Z_T + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_T \tan \beta l} = \frac{Z_T/Z_0 + j \tan \beta l}{1 + jZ_T/Z_0 \tan \beta l} \\ &= \frac{z_T + j \tan \beta l}{1 + jz_T \tan \beta l} \quad \dots\dots\dots (5.2) \end{aligned}$$

Dimana  $z_T = Z_T/Z_0$  = impedansi beban ternormalisasi, sedangkan koefisien refleksi pada beban dinyatakan dengan:

$$\Gamma = \frac{Z_T - Z_0}{Z_T + Z_0} = \frac{z_T - 1}{z_T + 1} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

### 5.4.2 Admitansi Input Beban Ternormalisasi

Kadang-kadang, dalam menganalisa suatu saluran transmisi kita sering bekerja dengan admitansi. Khususnya pada saat melakukan proses penyesuaian impedansi, yang elemen-elemennya harus dipasang secara paralel. Dengan definisi bahwa admitansi

merupakan kebalikan dari impedansi, untuk mendapatkan admitansi input  $Y_{in}$ , admitansi input ternormalisasi  $y_{in}$  dan koefisien refleksi, dapat dilakukan dengan membalik Pers.(5.1), (5.2) dan (5.3), sehingga diperoleh:

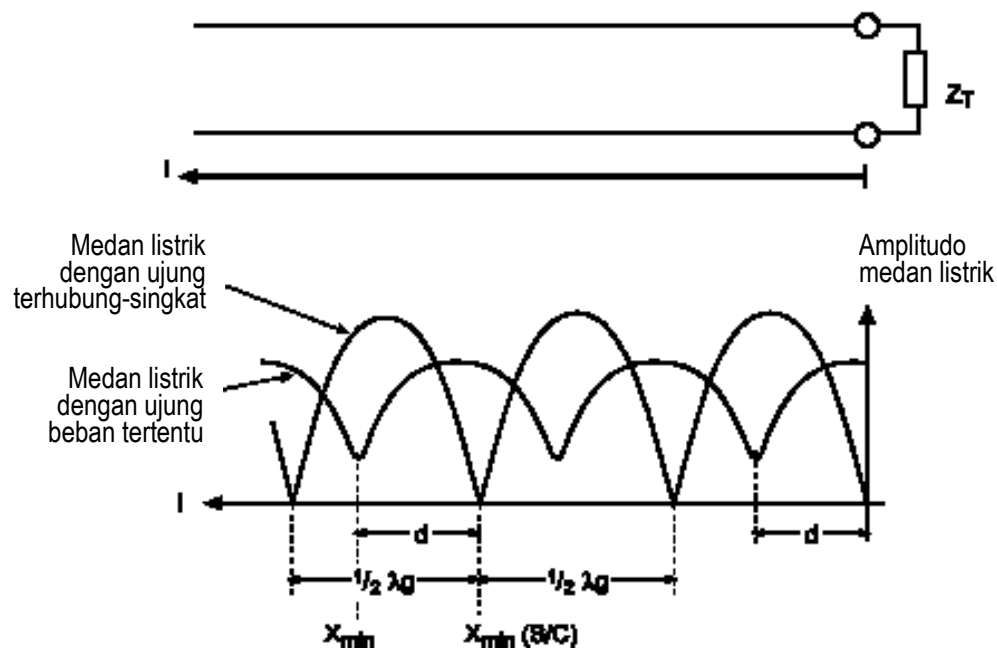
$$Y_{in}(l) = \frac{I(l)}{V(l)} = Y_0 \frac{Y_T + jY_0 \tan \beta l}{Y_0 + jY_T \tan \beta l} \quad \dots\dots (5.4)$$

$$y_{in}(l) = \frac{y_T + j \tan \beta l}{1 + jy_T \tan \beta l} \quad \dots\dots (5.5)$$

$$\Gamma = \frac{Z_0 - Z_T}{Z_0 + Z_T} = \frac{1 - y_T}{1 + y_T} \quad \dots\dots (5.6)$$

#### 5.4.3 Pengukuran Impedansi Ternormalisasi Beban

Gambar 5-1 mengilustrasikan bentuk pola gelombang berdiri pada saluran transmisi dengan beban tidak sesuai (*mismatch*).



**Gambar 5-1:** Pola gelombang berdiri pada saluran transmisi

Amplitudo medan listrik terhadap jarak dari beban, ditunjukkan dengan level maksimum  $E_{max}$  dan level minimum  $E_{min}$  yang bervariasi. Dengan mengukur rasio tegangan gelombang berdiri, VSWR atau  $S$ , dan posisi titik minimum pertama dari beban,

maka impedansi beban ternormalisasi  $Z_T$  dapat ditentukan. Pada titik dimana tegangan atau medan listrik minimum, gelombang datang dan gelombang pantul saling berlawanan. Dan impedansi input ternormalisasi, akan bernilai resistif, yang besarnya  $1/S$ . Sehingga:

$$\text{pada saat } l = d \quad z_{in}(d) = \frac{1}{S} = \frac{z_T + j \tan \beta d}{1 + j z_T \tan \beta d} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

dimana:  $S = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}$ ,  $S = \text{VSWR}$ ;  $d$  = jarak antara beban dengan medan listrik minimum pertama.

Kita selesaikan Pers.(5.7) untuk mendapatkan impedansi beban ternormalisasi,  $z_T$ :

$$z_T = \frac{1 - j S \tan \beta d}{S + j \tan \beta d} \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

Dalam hali ini,  $z_T$  berbentuk bilangan kompleks. Dan jika  $Z_T$  dinyatakan dalam bagian riil (resistif)  $r_T$  dan imajiner (reaktif)  $x_T$ , maka:

$$r_T = \frac{S(1 + \tan^2 \beta d)}{S^2 + \tan^2 \beta d} \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

$$x_T = \frac{(1 - S^2) \tan \beta d}{S^2 + \tan^2 \beta d} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

Dalam praktek, VSWR diukur dengan detektor arus pada suatu titik maksimum  $I_{\max}$  dan minimum  $I_{\min}$  dari *slotted line* :

$$S = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}} \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

Jarak  $d$ , diperoleh dari Gambar 5-1 dan dapat dihitung dengan rumus:

$$d = x_{\min}(\text{beban}) - x_{\min}(\text{short-circuit}) \quad \dots\dots (5.12)$$

Impedansi ternormalisasi  $z_T$  dapat dicari menggunakan Pers. (5.9) dan (5.10), dengan menggunakan kalkulator atau dengan menggunakan bantuan Peta Smith.

#### 5.4.4 Penyesuaian Impedansi Menggunakan Beban Stub Reaktif

Tuner *probe slotted line*, komponen C bertindak sebagai elemen *matching* reaktif. Prinsipnya, pada saat beban digeser sejauh  $l$  dari beban, maka harus diperoleh admitansi input ternormalisasi sebesar:

$$y_{in}(l) = 1 \pm jb \quad \dots\dots\dots (5.13)$$

Dengan demikian, perlu upaya untuk menambah susceptansi sebesar  $\mp jb$ , agar diperoleh  $y_{in} = 1$ , yang merupakan kondisi sesuai (*match*).

$$y_{in}(l_m) = \frac{y_T + j \tan \beta l_m}{1 + jy_T \tan \beta l_m} \quad \dots\dots\dots (5.14)$$

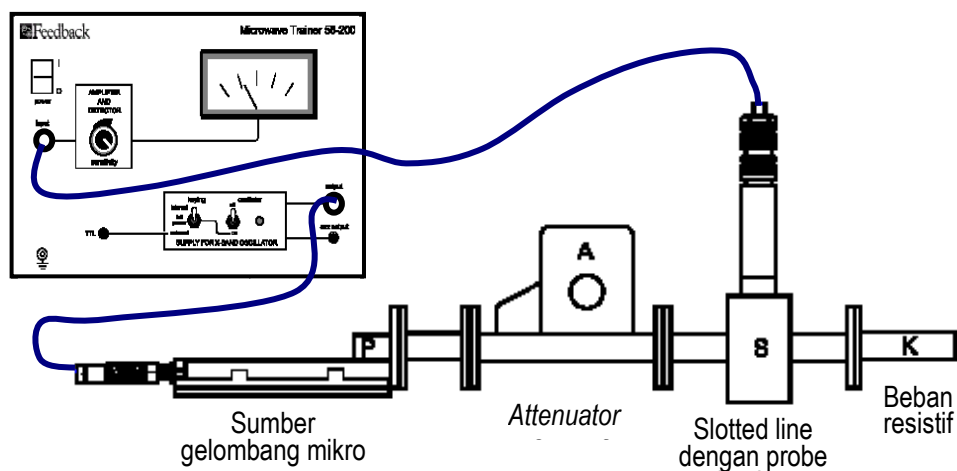
$$\tan^2 \beta l_m = 1/S \quad \dots\dots\dots (5.15)$$

$$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} (1/S) = \frac{\pm \lambda_g}{2\pi} = \tan^{-1} (1/S) \quad \dots\dots\dots (5.16)$$

### 5.5 PROSEDUR PERCOBAAN

#### 5.5.1 Percobaan Pengukuran Impedansi Ternormalisasi

- (1) Rangkailah seperti Gambar 5-2 di bawah ini. Beban *waveguide* yang akan diukur impedansinya, dihubungkan dengan ujung *slotted line*. Beban yang diukur di sini adalah komponen K.



Gambar 5-2: Rangkaian pengukuran impedansi beban

- (2) Aturlah *attenuator* kira-kira  $20^\circ$  untuk menghasilkan harga redaman yang sesuai, kemudian saklarkan sumber gelombang mikro band-X ke internal “keying”. Kemudian, amatilah penunjukkan meter ukur untuk mendeteksi keberadaan gelombang mikro.
- (3) Geserlah detektor sepanjang celah *waveguide* untuk mendapatkan letak medan listrik maksimum. Aturlah sensitivitas detektor amplifier untuk menghasilkan pembacaan antara 3 mA sampai 4 mA. Jika perlu, aturlah *attenuator*-nya.
- (4) Untuk mengukur harga VSWR saluran, geserlah detektor mulai dari celah dekat ujung beban sampai ke kiri sepanjang *waveguide*, sehingga diperoleh arus maksimum dan minimum di beberapa tempat.
- (5) Berdasarkan langkah (4), isilah Tabel 5-1 di bawah ini.

**Tabel 5-1:** Hasil pengukuran impedansi

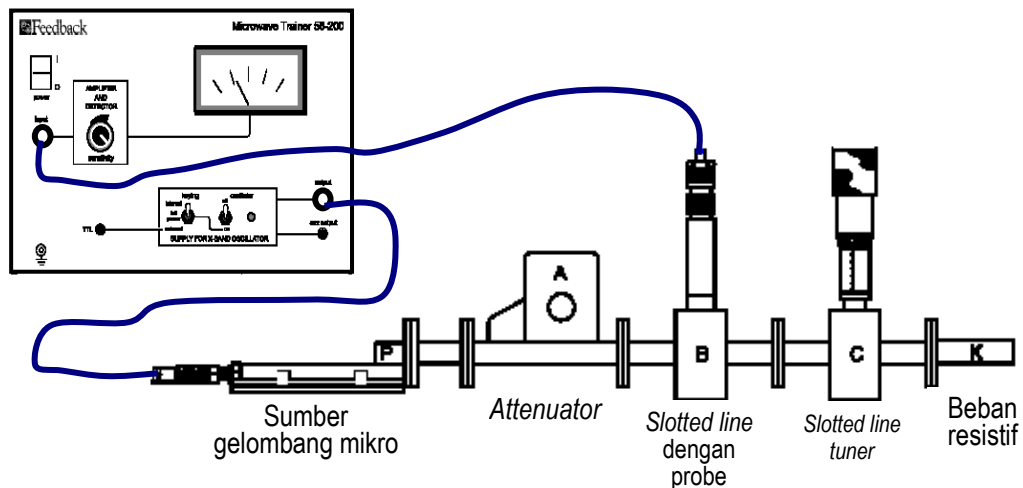
Dengan beban resistif		Dengan beban terhubung singkat ( <i>short-circuit</i> )
Posisi titik maksimum dan minimum	Penunjukkan detektor arus	Posisi titik maksimum dan minimum
$X_{1\min} = \dots\dots$	$I_{1\min} = \dots\dots$	$X_{1\text{ s/c min}} = \dots\dots\dots$
$X_{2\max} = \dots\dots$	$I_{2\max} = \dots\dots$	
$X_{3\min} = \dots\dots$	$I_{3\min} = \dots\dots$	$X_{3\text{ s/c min}} = \dots\dots\dots$
$X_{4\max} = \dots\dots$	$I_{4\max} = \dots\dots$	
$X_{5\min} = \dots\dots$	$I_{5\min} = \dots\dots$	$X_{3\text{ s/c min}} = \dots\dots\dots$

- (6) Gantilah beban resistif dengan plat *short circuit*. Dengan demikian, ujung *slotted line* kini dalam keadaan terhubung singkat (*short circuit*).
- (7) Carilah letak medan listrik minimum dengan menggeser *probe-detector* sepanjang celah saluran, mulai dari dekat dari ujung beban ke arah sumber. Catatlah posisi ini.



### 5.5.2 Matching Impedansi dengan Stub Tuner

- (1) Rangkailah komponen-komponen *waveguide* seperti Gambar 5-3. Tuner *probe* C disisipkan antara *slotted line* dan beban resistif K. (Catatan: Unit tuner *probe* ini digunakan sebagai unit untuk penyesuaian (*matching*) impedansi beban dan memperbaiki VSWR, idealnya sama dengan 1,0).



**Gambar 5-2:** Rangkaian pengukuran penyesuaian impedansi

- (2) Posisi *probe* diletakkan dimana bagian riil (resistif) dari admitansi input ternormalisasi beban berharga 1, dan bagian imajiner (susceptansi)-nya berharga:

$$y_{in}(l) = 1 - j b$$

Selanjutnya, susceptansi induktif  $-jb$  dapat dihilangkan dengan menambahkan susceptansi kapasitif sebesar  $+jb$ , dengan cara mengatur *probe*.

$$y_{in} = 1 - j b + j b = 1$$

Keadaan ini dinamakan saluran dalam kondisi sesuai (*match*).

- (3) Posisi yang dimaksud dari *tuner probe* dinyatakan dengan rumus:

$$l = d + l_m + \frac{1}{2} n \lambda_g$$

Dimana  $d$  = jarak dari medan listrik minimum dari beban.

$$l_m = \frac{\lambda_g}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{S}} \right); \quad S = \text{VSWR}; \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Dengan menggunakan hasil yang diperoleh dari pengukuran impedansi sebelumnya, hitunglah  $l_m$  dan letakkan *probe* pada posisi  $l$  yang diperlukan.

- (4) Setelah mengatur posisi relatif *probe* (dari 1 sampai 10), skala *tuner* tiba-tiba meningkat. Dengan demikian, perbaikan VSWR akan diperoleh. Kondisi *matching* diperoleh, jika susceptansi kapasitif *probe* dapat menghilangkan susceptansi input beban, dan menurunkan VSWR secara tajam.
- (5) Ulangi untuk mendapatkan harga VSWR yang terbaik, dan bandingkan dengan VSWR beban sebelum dilakukan *matching* dalam prosentase daya refleksi dan daya yang prosentase daya transmisi.

## 5.6 TUGAS-TUGAS

- (1) Hitunglah VSWR atau  $S$  beban, panjang gelombang dalam waveguide  $\lambda_g$  dan jarak  $d$  dari medan listrik minimum ke input beban.

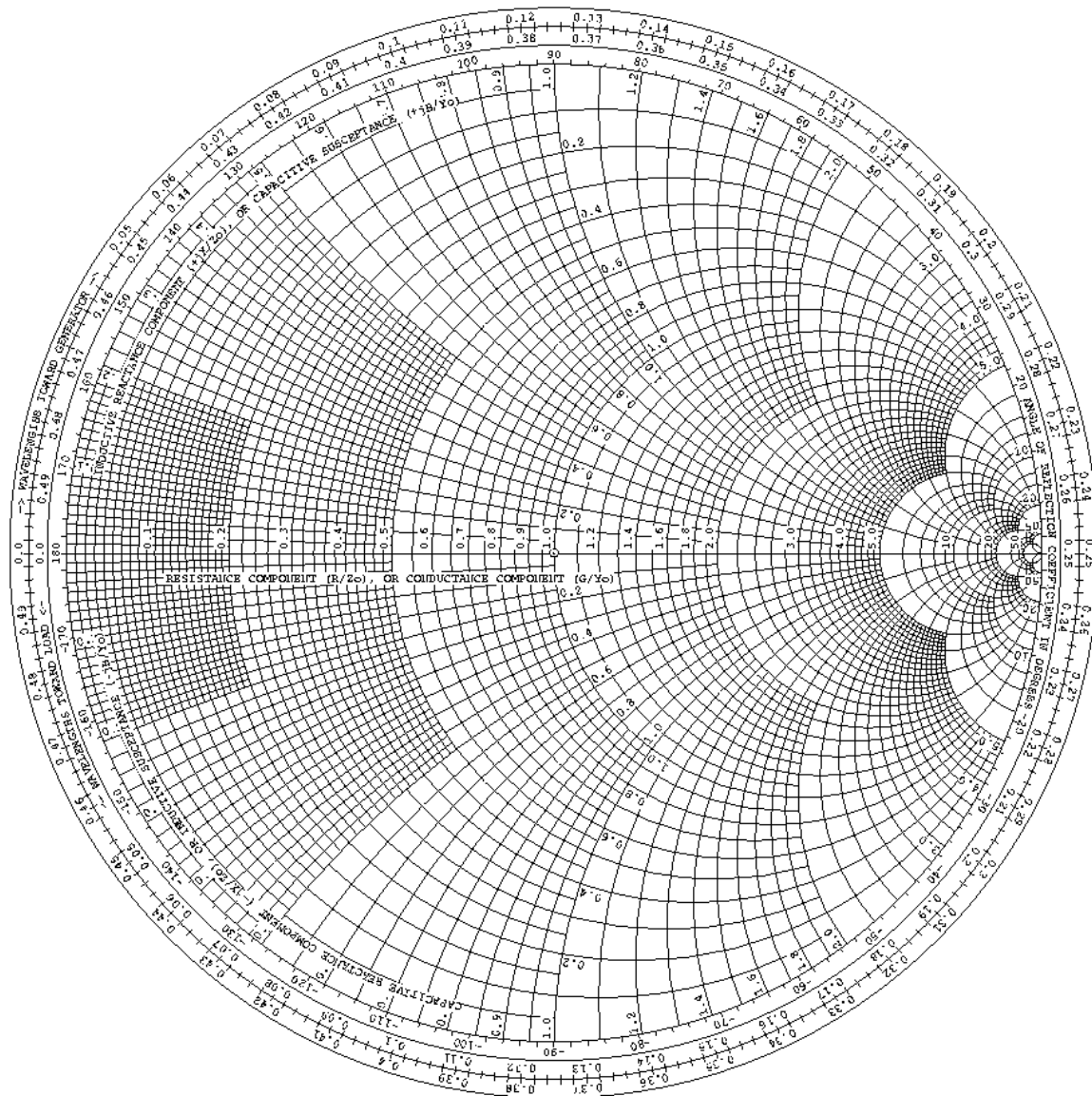
Ingat: 
$$S = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}; \quad \lambda_g = 2 (X_{3 \text{ s/c}} - X_{1 \text{ s/c}})$$

$$= (X_{5 \text{ s/c}} - X_{1 \text{ s/c}})$$

- (2) Hitunglah impedansi beban ternormalisasi,  $z_T = r_T + jx_T$ , dimana  $r_T$  dan  $x_T$  masing-masing dapat dihitung dengan Pers. (5-9) dan (5-10).
- (3) Bandingkan hasil yang diperoleh dari hasil di atas, dengan menggunakan Peta Smith (Gambar 5-3)
- (4) Berilah kesimpulan dari percobaan ini.

## 5.7 DAFTAR PUSTAKA

- [1] ....., *Trainer Microwave* 56-200, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.



**Gambar 5-3:** Peta Smith untuk menyelesaikan Tugas (3)

# Percobaan 6

## Pengukuran Daya Transmisi dan Daya Refleksi pada Saluran Transmisi

### 6.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah memahami cara pengukuran daya transmisi dan daya refleksi gelombang mikro yang melalui *waveguide* menggunakan *directional coupler*.

### 6.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan sifat *direction coupler* dan aplikasinya pada pengukuran sistem transmisi gelombang mikro.
- ✓ Menjelaskan kerja *direction coupler* yang digunakan untuk memonitor aliran daya pada arah maju dan balik.
- ✓ Melakukan pengukuran rasio gelombang berdiri (*voltage standing wave ratio* = VSWR) menggunakan *direction coupler*.

### 6.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

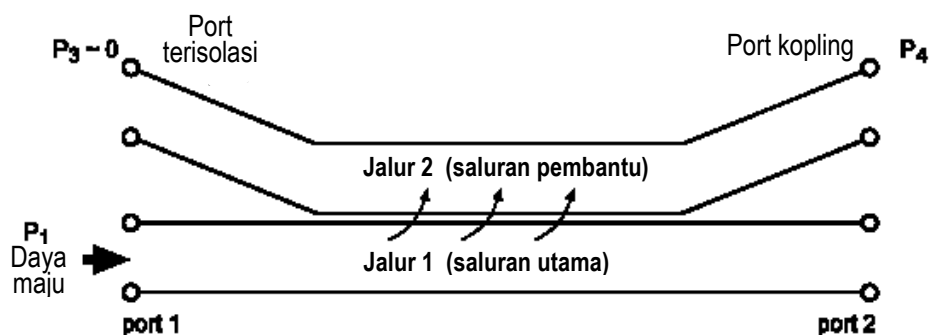
Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	1 unit
<i>Directional coupler</i>	F	1 unit
<i>Probe-diode detector</i>	S	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>Antena horn</i>	N	1 unit
Lempengan <i>short-circuit</i>	R	1 unit

## 6.4 TEORI DASAR

### *Directional Coupler*

Ilustrasi kerja dari *directional coupler* dapat dijelaskan melalui Gambar 6-1 di bawah ini. Suatu *directional coupler*, pada dasarnya terdiri dari dua kopling saluran transmisi, yang dirancang untuk mengkopel sinyal dari saluran utama dan sebagian ke jalur lain. Pada arah maju (*forward*), daya datang  $P_1$  dari port 1 yang melalui jalur 1 (saluran utama) dengan tujuan port 2, sebagian akan dikopel ke jalur 2 (saluran pembantu) dan masuk port 3 (daya  $P_3$ ). Sedangkan, daya yang masuk pada port 4 melalui jalur 2, diusahakan tidak ada/diisolasi ( $P_4 \approx 0$ ).



Gambar 6-1: Ilustrasi kerja *directional coupler*

Koefisien kopling dari *directional coupler* dinyatakan dengan:

$$C = \frac{\text{daya yang dikoplingkan}}{\text{daya datang}} = \frac{P_3}{P_1} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

Jika dinyatakan dalam bentuk desibel, pernyataan rasio di atas akan dibalik untuk menghindari hasil yang negatif. Sehingga dinyatakan:

$$C = 10 \log \frac{P_1}{P_3} \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

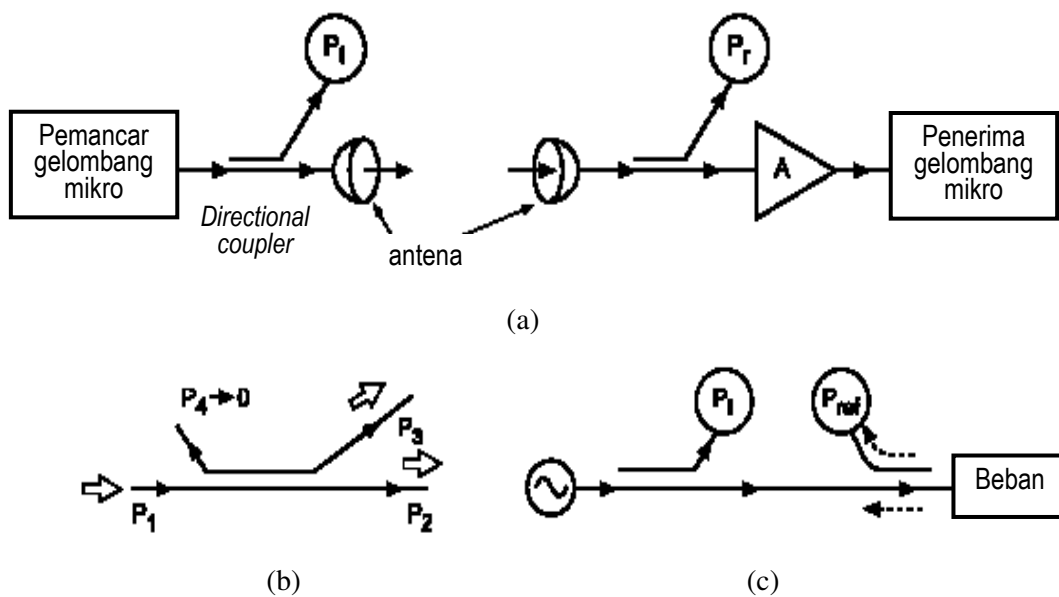
Dalam prakteknya, port 4 tidak bisa terisolasi secara sempurna. Artinya, masih ada kebocoran sinyal yang dilewatkan melalui port ini, meskipun porsinya sangat kecil. Untuk menyatakan faktor kebocoran *directional coupler* ini, dinyatakan dengan parameter direktivitas (*directivity*):

$$D = \frac{\text{daya yang dikopelkan pada port 3}}{\text{daya lewat pada port yang diisolasi}} = \frac{P_3}{P_4} \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

atau dalam bentuk desibel dinyatakan:

$$D = 10 \log \frac{P_3}{P_4} \dots\dots\dots (6.4)$$

Pada umumnya, *directional coupler* yang baik mempunyai harga direktivitas lebih dari 30 dB. Artinya, perbandingan daya yang dikopel pada port yang dikehendaki (port 3) dan daya isolasi pada port 4 lebih kecil dari 1000 kali. Aplikasi *directional coupler* banyak dijumpai pada monitoring transmisi daya RF, pemisah daya pada sistem pengukuran gelombang mikro.

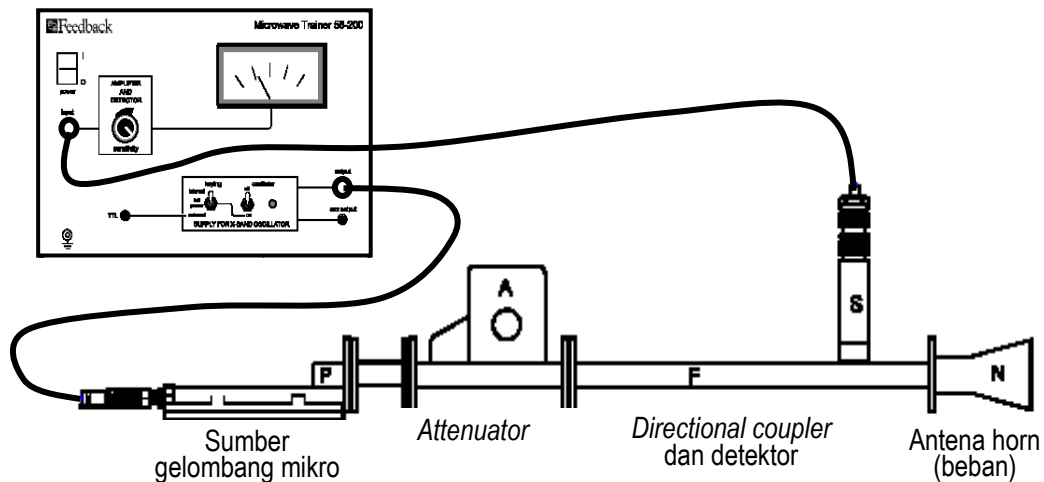


**Gambar 6-2:** Tiga contoh aplikasi *directional coupler* pada pengukuran RF  
 (a) *Directional coupler* sebagai monitor daya pada rangkaian pemancar dan penerima  
 (b) *Directional coupler* sebagai pemisah jalur  
 (c) *Directional coupler* untuk memonitor daya datang dan refleksi

## 6.5 PROSEDUR PERCOBAAN :

- (1) Rangkailah seperti Gambar 6-3 di bawah ini. *Directional coupler* dipasang dengan kopling pada posisi maju (*forward*) dan antenna horn digunakan sebagai beban. *Probe S* bertugas mendeteksi daya yang dikopel pada arah maju. Kedalaman *probe* pada *waveguide*, diatur untuk mendapatkan hasil penunjukan yang optimum.

- (2) Aturlah *attenuator* kira-kira  $40^\circ$  untuk menghasilkan harga redaman yang sesuai, kemudian saklarkan sumber gelombang mikro band-X ke internal “keying” dan amatilah penunjukan meter ukur untuk mendeteksi adanya daya kopling.
- (3) Aturlah sensitivitas detektor amplifier untuk menghasilkan pembacaan alat ukur yang layak (*mid-scale reading*). Jika perlu, aturlah juga *attenuator*-nya.

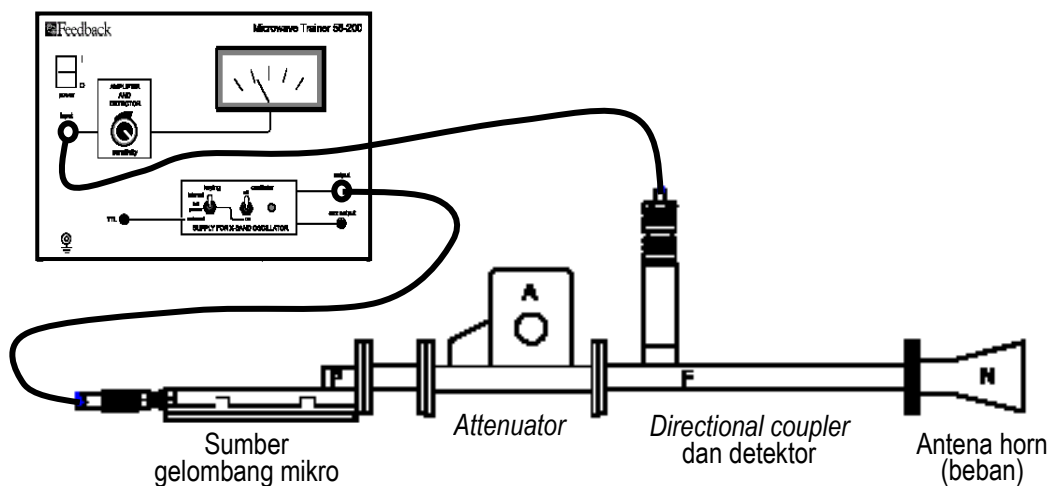


**Gambar 6-3:** Rangkaian pengukuran menggunakan *directional coupler* (arah maju)

- (4) Catatlah detektor arus yang terbaca pada meter ukur sebagai  $I_f$  dan isikan pada Tabel 6-1 di bawah ini.
- (5) Gantilah beban antenna dengan beban yang lain: terminator resistif dan *attenuator* plus rangkaian hubung-singkat (*short circuit*).
- (6) Selanjutnya, baliklah arah *directional coupler* untuk mengukur daya refleksi dari antenna horn, sehingga rangkaian percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 6-4. Arah *directional coupler* yang demikian ini, digunakan untuk mengkopel daya arah balik (*reverse*).
- (7) Catatlah detektor arus yang terbaca pada meter ukur sebagai  $I_r$  untuk antenna horn dan isikan pada Tabel 6.1.
- (8) Gantilah beban antenna dengan beban lain: terminator resistif dan *attenuator* plus rangkaian hubung-singkat (*short circuit*).

**Tabel 6-1:** Hasil pengukuran menggunakan *direction coupler*

Pembacaan mikro amper meter :	Antena horn:	<i>Terminator</i> resistif:	<i>Attenuator</i> plus plat <i>short circuit</i> :
Arah maju, $I_f$ Arah balik, $I_r$			
Koef. refleksi daya: $P_r / P_f = I_r / I_f = \Gamma^2$			
Koef. refleksi tegangan: $\Gamma = \sqrt{I_r / I_f}$			
VSWR, $S = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$			

**Gambar 6-3:** Rangkaian pengukuran menggunakan *directional coupler* (maju balik)

## 5.6 TUGAS-TUGAS :

- (1) Berdasarkan Tabel 4-1, hitunglah koefisien refleksi daya untuk beban antena, terminator resistif dan *attenuator* plus rangkaian hubung-singkat (*short circuit*).
- (2) Ulangi tugas (1) untuk menghitung koefisien refleksi tegangan dan VSWR dari masing-masing beban di atas.
- (3) Berilah kesimpulan dari percobaan di atas.



## **6.7 DAFTAR PUSTAKA**

- [1] ....., *Trainer Microwave 56-200*, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Prentice Hall International, Inc., 2001.

# Percobaan 7

## Pengukuran Karakteristik Junction Tee Paralel, Tee Seri dan Hybrid Tee

### 7.1 TUJUAN

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk memahami mekanisme kerja dari tiga komponen penting *waveguide*, yaitu: *junction Tee* bidang-H (parallel/shunt Tee), *Tee* bidang-E (Seri Tee) dan *hybrid Tee* (*magic Tee*).

### 7.2 KOMPETENSI

Setelah melakukan percobaan ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- ✓ Menjelaskan sifat-sifat dan aplikasi dari tiga *junction waveguide*, yaitu: *junction Tee* bidang-H (parallel/shunt Tee), *Tee* bidang-E (Seri Tee) dan *hybrid Tee* (*magic Tee*).
- ✓ Menggunakan *junction-junction* di atas untuk pengukuran dan pembagian daya melalui *port-port* nya.

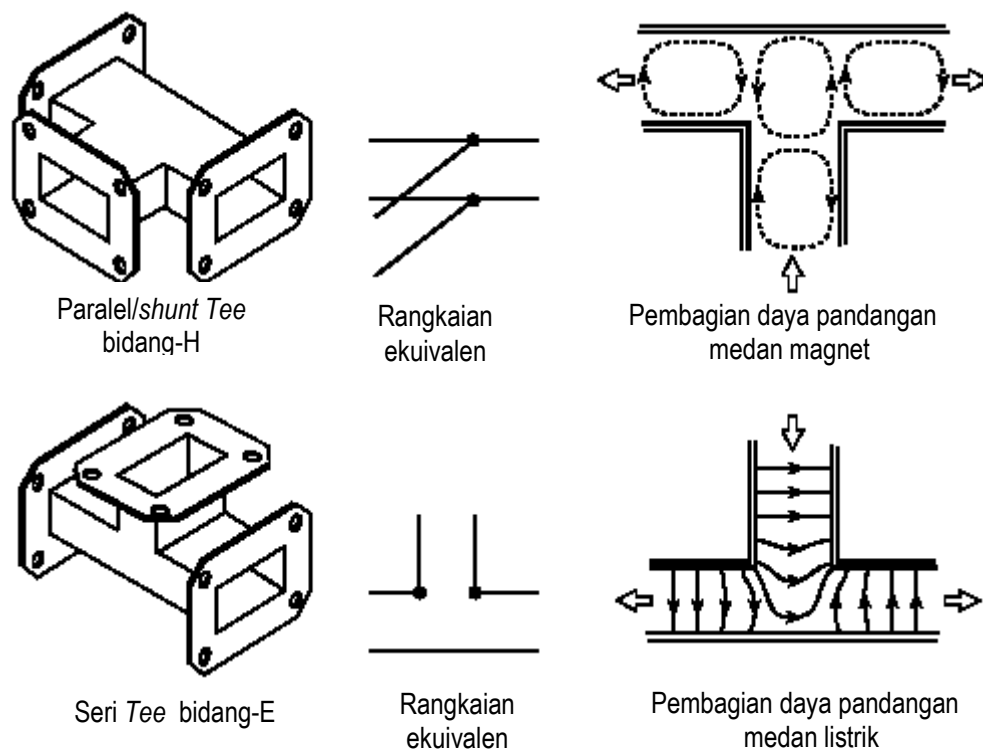
### 7.3 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan adalah komponen-komponen *waveguide* dari *Tranier Microwave* merk *Feedback* tipe 56-200, dengan rincian sebagai berikut:

Komponen:	Identitas:	Jumlah:
<i>Control console</i>	---	1 unit
<i>Variable attenuator</i>	A	1 unit
<i>Slotted line</i>	B	1 unit
<i>Probe-diode detector</i>	S	1 unit
<i>osillator Band-x</i>	P	1 unit
<i>Diode detector mount waveguide</i>	M	1 unit
<i>Resistive terminator</i>	K	1 unit
<i>Shunt Tee (bidang-H)</i>	E	1 unit
<i>Seri Tee ( bidang-E)</i>	G	1 unit
<i>hybird Tee (magic Tee)</i>	U	1 unit
<i>Antena horn</i>	N	2 unit

## 7.4 TEORI DASAR

Dalam banyak aplikasi peralatan gelombang mikro, sering dibutuhkan suatu perangkat yang digunakan untuk membagi *waveguide* menjadi dua cabang atau sebaliknya, menyatukan dari dua cabang menjadi satu. Komponen *waveguide* yang digunakan untuk keperluan tersebut adalah *junction Tee*, baik bentuk parallel atau *shunt Tee* bidang-H maupun bentuk seri *Tee* bidang-E, seperti ditunjukkan pada Gambar 7-1. Disebut *shunt Tee* bidang-H, karena ketiga cabangnya merupakan bidang medan magnet (medan-H) mode  $H_{10}$ , dan disebut *junction seri Tee* bidang-E, juga karena ketiga cabangnya merupakan bidang medan listrik (medan-E) mode  $H_{10}$ . Pada *Tee* bidang-H, gelombang datang yang merambat pada saluran utama, terbagi menjadi dua sama besar dan sefasa, sedangkan berlawanan fasa untuk *Tee* bidang-E.

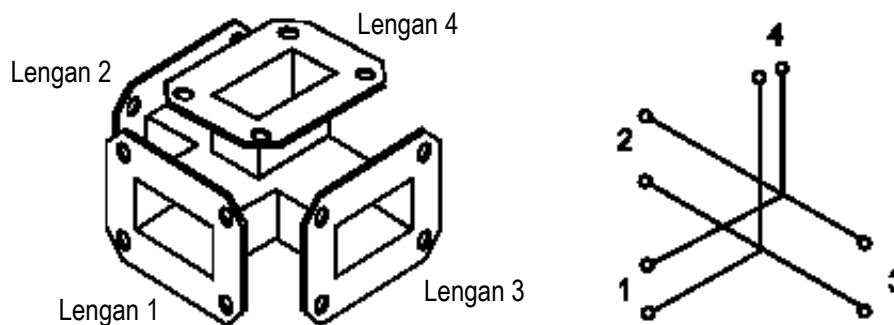


**Gambar 7-1:** *Junction Tee* bidang-H dan *Tee* bidang-E

*Junction hybrid Tee* atau disebut juga *magic Tee* (ditunjukkan pada Gambar 7-2), merupakan hasil kombinasi antara *Tee* bidang-H dan *Tee* bidang-E. Prinsip kerja dari perangkat ini merupakan kombinasi antara keduanya. Berdasarkan Gambar 7-2, mekanisme kerja *hybrid Tee* dapat dijelaskan berikut:

- (i) Daya yang datang dari lengan 1, akan diteruskan ke lengan 2 dan lengan 3 (dengan fasa yang sama), dan tidak ada yang ke lengan 4.
- (ii) Daya yang datang dari lengan 4, akan diteruskan ke lengan 2 dan lengan 3 (dengan fasa berlawanan), dan tidak ada yang ke lengan 1.
- (iii) Jika ada daya datang pada lengan 2 dan lengan 3 dengan magnitudo dan fasa yang sama, maka akan dilewatkan ke lengan 1.
- (iv) Jika ada daya datang pada lengan 2 dan lengan 3 dengan magnitudo sama, tetapi fasanya berlawanan, maka akan dilewatkan ke lengan 4.

*Magic Tee* digunakan untuk mencampur dua sinyal yang mempunyai fasa yang sama atau berlawanan pada *waveguide* yang sama. Perangkat ini banyak digunakan sebagai *duplexer* pada sistem radar dengan satu antena, *balance mixer* pada sistem penerima, atau sebagai perantara (*bridge*) pada pengukuran gelombang mikro.



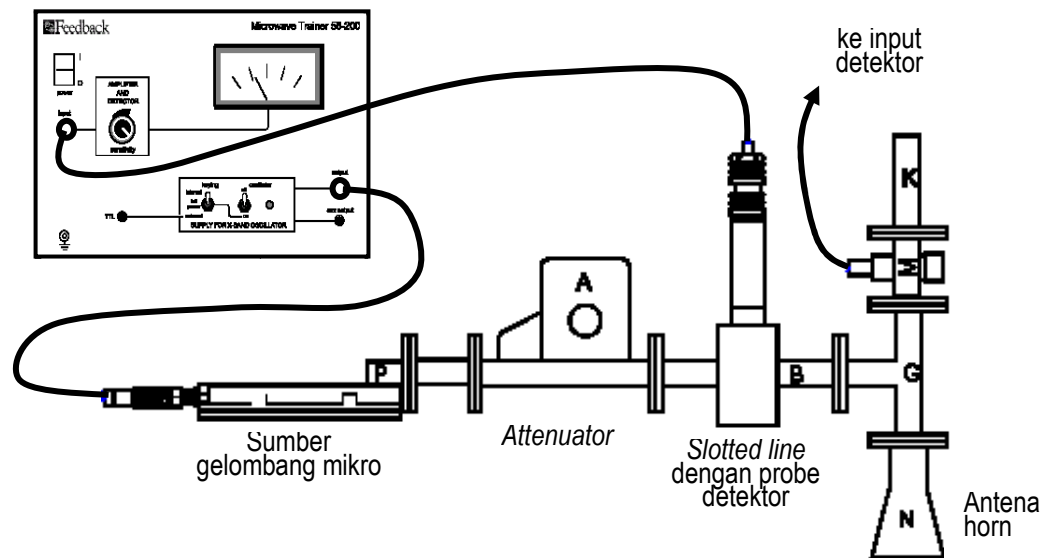
**Gambar 7-2:** *Junction hybrid Tee* atau *magic Tee* dan ekuivalennya

## 7.5 PROSEDUR PERCOBAAN

### 7.5.1 Investigasi *Tee* bidang-H dan *Tee* bidang-E

- (1) Rangkailah seperti Gambar 7-3 di bawah ini. *Slotted line* dan detektor *probe-diode* digunakan untuk mengukur VSWR input *waveguide* pada *Tee* (misalkan *Tee* bidang-H). Antena horn dipasang pada salah satu lengan *Tee* digunakan sebagai beban yang baik (sesuai), sementara itu daya yang lain diukur dengan detector diode yang diberi beban resistif.

- (2) Aturlah *attenuator* kira-kira  $60^\circ$  (redaman secukupnya), kemudian saklarkan sumber gelombang mikro band-X ke internal “keying” dan amatilah penunjukkan meter ukur dari output detektor.



**Gambar 7-3:** Rangkaian pengukuran *Tee* bidang-H dan *Tee* bidang-E

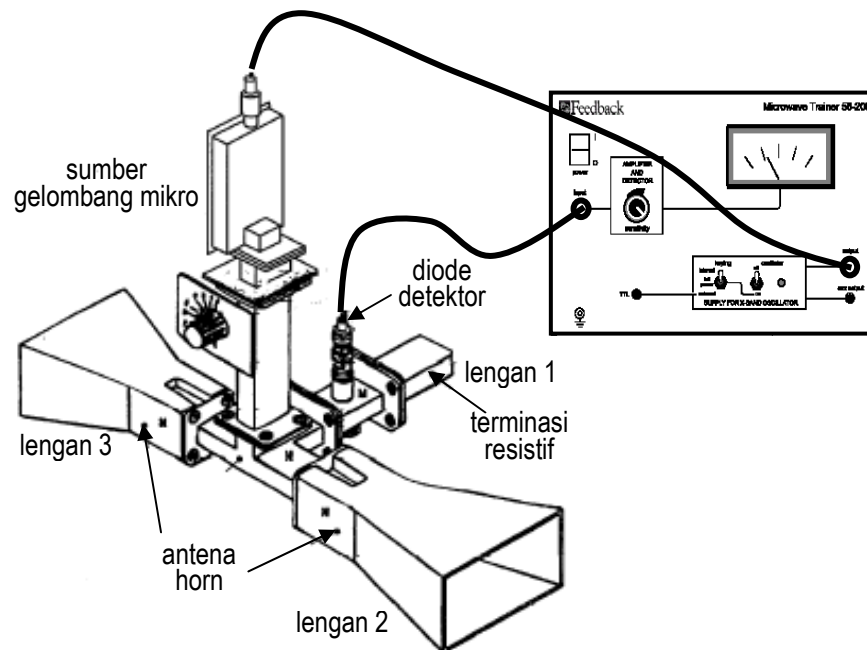
- (3) Ukurlah VSWR pada input saluran dari *Tee* dengan menggunakan *slotted line* dan unit probe detektor yang dihubungkan ke input detektor konsol. Gerakkan unit probe detektor ke lokasi dimana medan listriknya maksimum. Aturlah sensitivitas detektor amplifier untuk menghasilkan pembacaan alat ukur yang layak (*mid-scale reading*). Jika perlu, aturlah juga *attenuator*-nya. Catatlah arus maksimum pada meter ukur;  $I_{\max}$ . Selanjutnya pindahkan ke lokasi medan listrik minimum, dan catatlah arus minimum pada meter ukur;  $I_{\min}$ .
- (4) Lepaslah ujung akhir dari probe detektor dari *slotted line*, dan hubungkan dengan deode detektor waveguide pada salah satu lengan kiri Tee. Ukurlah arusnya dan nyatakan dengan  $I_{LH}$ .
- (5) Pindahkan posisi antena horn pada lengan kiri, deode detektor dan terminasi resistif ke lengan kanan. Ukurlah arusnya dan nyatakan dengan  $I_{RH}$ .
- (6) Ulangi lagi, langkah (1) sampai dengan (5), untuk *junction Tee* yang lain (*Tee* bidang-E).
- (7) Catatlah hasil-hasilnya pada Tabel 7-1.

**Tabel 7-1:** Hasil pengukuran *Tee* bidang-H dan bidang-E

<b>Pengukuran VSWR detector arus pada:</b>	<b><i>Tee</i> bidang-H:</b>	<b><i>Tee</i> bidang-E:</b>
Arus maksimum; $I_{\max}$		
Arus minimum; $I_{\min}$		
VSWR, $S = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$		
Koef.refleksi; $\Gamma = \frac{S-1}{S+1}$		
<b>Tracking: detector arus:</b>	<b><i>Tee</i> bidang-H:</b>	<b><i>Tee</i> bidang-E:</b>
Arus pd lengan kiri; $I_{LH}$		
Arus pd lengan kanan; $I_{RH}$		
Perbandingan daya; $I_{LH}/I_{RH}$		

### 7.5.2 Investigasi *Hybrid Tee* (*Magic Tee*)

- (1) Rangkailah seperti Gambar 7-4 di bawah ini. Aturlah *attenuator* kira-kira  $60^\circ$  (redaman secukupnya), kemudian saklarkan sumber gelombang mikro band-X ke internal “keying” dan amatilah penunjukkan meter ukur dari keluaran (*output*) detektor.
- (2) Ukurlah detektor arus pada posisi yang ditunjukkan. Sebagai catatan: hasil pengukuran ini harus nol atau mendekati nol, karena detektor terletak di lokasi lengan yang terisolasi dengan lengan *hybrid Tee* yang dicatu.
- (3) Ukurlah daya pada pada lengan 2, dengan mengganti antenna horn dengan detektor arus dan terminasi resistif. Lengan 3 tetap dipasang antenna horn sebagai beban sesuai. Catatalah hasil ini sebagai daya pada lengan 2;  $I_2$ .
- (4) Selanjutnya, ukurlah daya pada pada lengan 3 dengan mengganti antenna horn dengan detektor arus dan terminasi resistif. Lengan 2 tetap dipasang antenna horn sebagai beban. Catatalah hasil ini sebgai daya pada lengan3;  $I_3$ .



**Gambar 7-3:** Rangkaian pengukuran *hybrid Tee (magic Tee)*

- (5) Kembalilah ke rangkaian semula, dimana lengan 2 dan lengan 3 dipasang antena horn, dan lengan 4 disisipkan *slotted line* yang dilengkapi dengan detektor probe-diode. Ukurlah arus maksimum dan arus minimum untuk menentukan VSWR pada lengan 4.
- (6) Masukkan hasil percobaan langkah (1) sampai (5) pada Tabel 7-2 di bawah ini.

**Tabel 7-2:** Hasil pengukuran *hybrid Tee (magic Tee)*

Obyek pengukuran:	Hasil pengukran:
Arus pada lengan 1:	.....mA
Arus pada lengan 2:	.....mA
Arus pada lengan 3:	.....mA
Arus maksimum pada lengan 4; $I_{\max}$	.....mA
Arus minimum pada lengan 4; $I_{\min}$	.....mA
VSWR, $S = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$	.....

**7.6 TUGAS-TUGAS**

- (1) Berdasarkan percobaan pada bagian 7.5.1, dengan menggunakan rumusan VSWR,

$$S = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}} \text{ dan koefisien refleksi } \Gamma = \frac{S-1}{S+1}, \text{ carilah harga VSWR dan koefisien}$$

refleksi di input *waveguide* pada kedua *junction Tee* tersebut.

- (2) Hitunglah perbandingan daya;  $I_{LH}/I_{RH}$  dari kedua *junction Tee* hasil pengukuran di atas.
- (3) Berdasarkan percobaan pada bagian 7.5.2, hitunglah harga VSWR dan koefisien refleksi pada lengan 4 dari *hybrid Tee* dan hitunglah perbandingan  $P_2/P_3$ .
- (4) Berilah kesimpulan dari percobaan di atas.

**7.7 DAFTAR PUSTAKA**

- [1] ....., *Trainer Microwave 56-200*, Feedback Instruments Ltd, Park Road, Crowborough, E. Sussex, TN6 2QR, UK.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 2001 Ed., Printice Hall International, Inc., 2001.