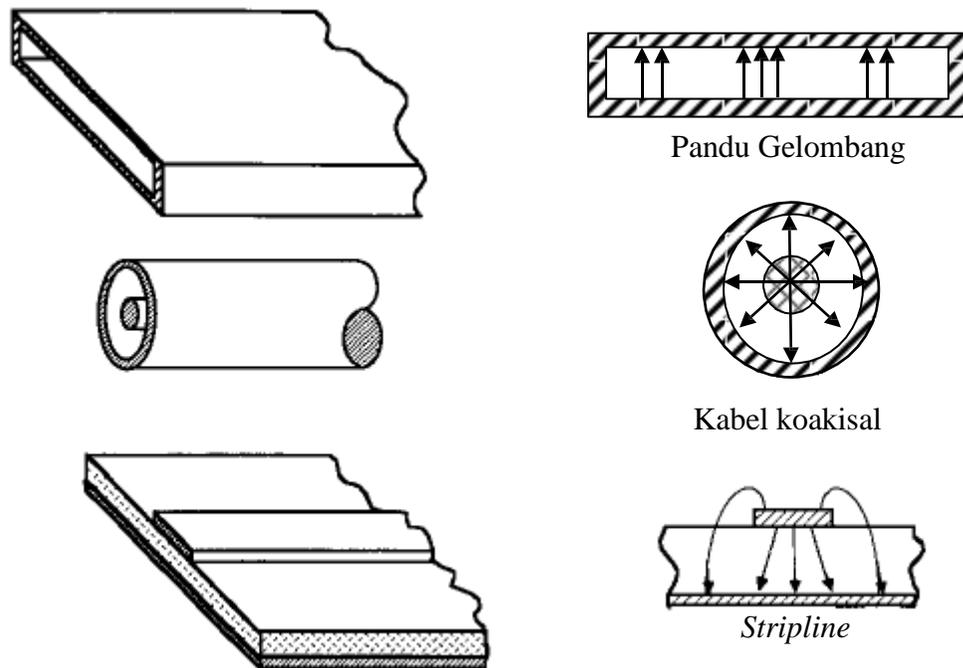


## SALURAN TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

Tiga tipe dasar saluran transmisi gelombang mikro seperti pada gambar 6.1 adalah kable koaksial, pandu gelombang, dan mikro strip. Contoh dari setiap tipe akan diberikan dan karakteristik dari tampilannya akan dibandingkan satu sama lainnya. Panjang pandu gelombang dan impedansi karakteristik dari saluran transmisi akan dihitung. Konektor saluran transmisi dan adaptor akan dibicarakan juga.



Gambar 6.1 Saluran Transmisi Gelombang Mikro.

### 6.1 Perbandingan Saluran Transmisi

Faktor – faktor yang perlu diperhatikan dalam perbandingan saluran transmisi gelombang mikro adalah :

- Range frekuensi
- Lebar pita / bandwidth
- Kemampuan daya pakai / power - handling capability.
- Pelemahan / pelemahan

- Ukuran
- Fabrikasi

Sayangnya, tidak ada saluran transmisi yang mempunyai performa yang optimal dalam semua kisaran, jadi untuk macam – macam aplikasi saluran transmisi dari trade-off yang paling baik harus dipilih.

Keuntungan dan kekurangan dari tiga tipe dasar saluran transmisi dibandingkan pada table 6.1. Kable coaxial mempunyai bandwidth yang lebar dan ukuran yang kecil, tetapi mempunyai pelemahan yang tinggi dan daya pakainya rendah.

Pandu gelombang, kontras, secara ekstrim mempunyai kerugian yang rendah dan daya pakai yang tinggi., tetapi bandwidth nya kecil. Sesungguhnya, 34 pandu gelombang diperlukan untuk menutupi penuh pita gelombang mikro. Pada batas bawah dari pita gelombang mikro, pandu gelombangnya sangat lebar. Ukuran ditentukan dengan frekuensi dari operasi dan kemampuan daya pakai atau pelemahan yang diperlukan.

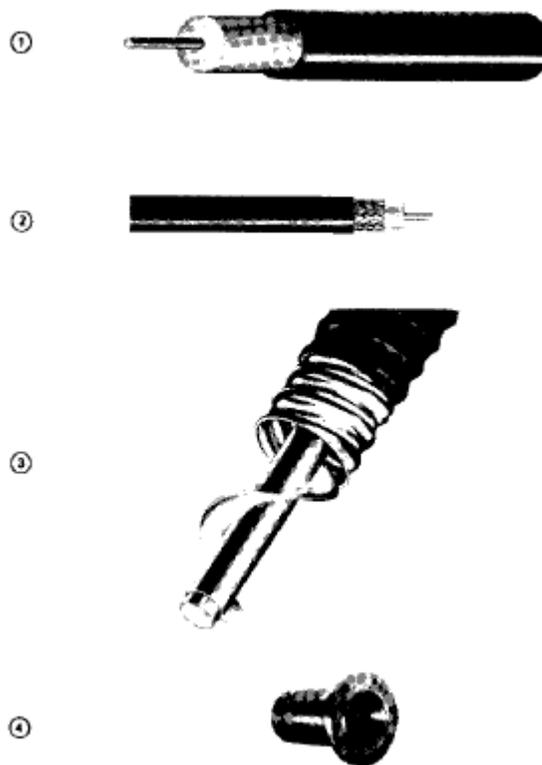
Keuntungan yang utama dari mikrostrip dapat dibuat dengan teknik *photoetching*, jadi rangkaian gelombang mikro yang rumit dapat dibuat. Sperti kble koaksial, mikrostrip mempunyai bandwidth yang lebar dan kecil, tapi mempunyai pelemahan yang sangat tinggi dan kemampuan daya pakai yang rendah.

Table 6.1 perbandingan dari saluran transmisi

Jenis	keuntungan	kekurangan
Pandu gelombang	Pelemahan rendah Daya tinggi	Bandwidth limit Ukuran besar
Kable coaxial	Bandwidth lebar Ukuran kecil	Pelemahan tinggi Daya lemah
mikrostrip	Mudah untuk dihubungkan pada multiple saluran pas saat yang bersamaan	Pelemahan sangat tinggi Daya lemah

13 saluran transmisi akan dibandingkan, termasuk 4 tipe kable koaksial, 8 tipe pandu gelombang, dan 1 mikrostrip, untuk menunjukkan bagaimana berbedanya saluran

transmisi dari tipe yang sama yang dibandingkan, dan bagaimana berbedanya dari tipe – tipe yang berbeda. Saluran transmisi ditunjukkan pada gambar 6.2. sampai 6.4. Setiap saluran transmisi telah dinomori, dan nomor tersebut akan digunakan pada grafik perbandingan pada gambar 6.5.



Gambar 6.2 Tipe – tipe kable koaksial (Allan, 1993)

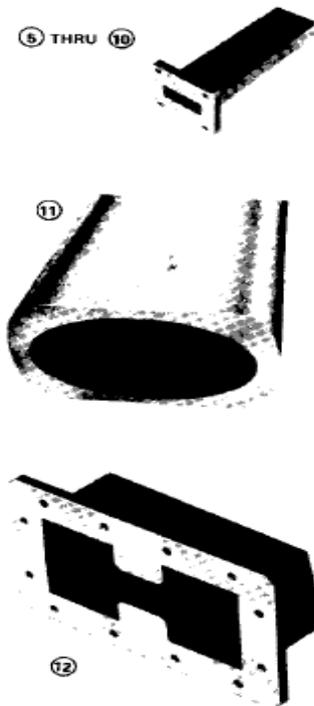
Kabel – kable koaksial ditunjukkan pada gambar 6.2 . Kabel pertama adalah kable koaksial yang semifleksibel. Kable tersebut mempunyai pusat konduktor yang pada terbuat dari chopper. Diameter luarnya adalah 0,141 inchi. Meskipun kable ini kecil, kable ini kurang fleksible karena padat pada konduktor luarnya. Kable – kable dari tipe – tipe ini dibuat dengan diameter luar antara 0,008 – 0,390 inchi.

Kable nomor 2, mirip dengan kable nomor satu, sejauh konduktor dalam dan dielektrik yang mendukung saling terkait, tapi kable tipe penggunaan konduktor luarnya dijalinan dengan selubung plastic yang protektif. Penjalinan kabe pada sisi luar konduktor membuat kable menjadi fleksibel. Seperti kable – kable yang dibuat dengan diameter luar antara 0,080 – 0,870 inchi, jadi ukurnanya berbanding 10:1. Diameter kable

terbesar, kemampuan daya pakai terbesar, tetapi range frekuensi operasi terendah. Sebagai contoh, kable dengan diameter luar 0,42 inchi.

Kabel nomor 3 adalah kable yang semifleksibel dengan diameter luar yang lebar hingga  $\frac{7}{8}$  inchi. Untuk membuat kable semifleksibel, helical dielektrik yang didukung teflon dan digunakan sebuah corrugated konduktor luar yang terbuat dari copper. Konstruksi seperti ini membuat kabel semifleksibel diameternya bahkan diatas  $1\frac{5}{8}$  inchi.

Kable nomor 4 adalah saluran transmisi yang kaku dengan diameter luar  $3\frac{1}{8}$  inchi. Konduktor luar adalah lekukan pipa, dan pada konduktor dalam adalah lekukan pipa yang didukung secara periodic oleh Teflon kecil yang ditempatkan. Ketebalan dari teflon yang ditempatkan tergantung pada dielektrik udara yang disebut saluran udara.



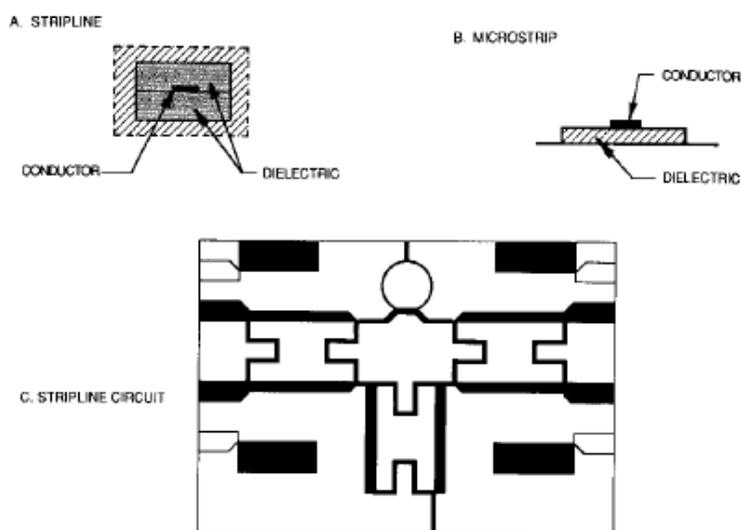
Gambar 6.3 Jenis – jenis pandu gelombang (Allan, 1993)

Gambar 6.3 menunjukkan beberapa tipe dari pandu gelombang. Enam pandu gelombang segi empat yang berbeda (5-10) akan dibandingkan. Perbedaannya hanya terletak pada ukurannya. Bandwidth yang bermabfaat dari pandu gelombang kira 1,5:1.

sebagai contoh pandu gelombang nomor 7, yang mempunyai dimensi luar 0,9 inchi, lebar 0,4 inchi oleh tinggi, tidak akan menyebarkan gelombang mikro hingga frekuensi 6,65 GHz dicapai. Kemudian kan menyebarkan gelombang mikro mode tunggal setelah mencapai frekuensi 13,1 GHz. Untuk menghindari pelemahan yang tinggi pada kahir yang rendah dari range dan untuk memastikan bahwa tidak ada daya yang dapat masuk ke mode orde tinggi, pandu gelombang normal digunakan pada 8,2 – 12,4 GHz. Jika transmisi pada frekuensi lain diinginkan, maka satandar pandu gelombang yang lain dapat dipilih. Standar pandu gelombang segi empat dibuat dari aluminium dan kuningan. Kuningan seringkali adalah plat perak yang mengurangi pelemahan.

Pandu gelombang 11 adalah pandu gelombang elips yang dibuat dari alumunium yang ditekan. Karena ukurannya yang lebar, pandu gelombang ini semi flexible dan dapat digulung seperti gulungan kable.

Pandu gelombang 12 adalah pandu gelombang tepi. Dapat diingat bahwa range frekuensi pandu gelombang segi empat ditentukan oleh lebar pandu gelombang. Tepi yang secara efektif meningkatkan lebar untuk mode dasar dari penyebaran yang dapat dimulai pada frekuensi yang rendah. Tepi hanya mempunyai efek yang kecil pada frekuensi cut-off dari mode tinngi kemudian, sejak tidak ada medan magnet yang ada dalam mode tinggi pada daecha tepi. Oleh karena itu, pandu gelombang tepi kira – kira mempunyai pita dua kali dari bandwidth standar pandu gelombang segi empat.



Gambar 6.4 Jenis – jenis saluran mikro strip (Allan, 1993)

Ketika material dielektrik ditempatkan pada kedua sisi dari strip konduktor, seperti yang ditunjukkan pada gambar A, saluran transmisi dapat disebut *stripline*. Ketika material dielektrik yang mendukung hanya terdapat pada satu sisi konduktor dan dielektrik pada sisi lainnya adalah udara, saluran transmisi ini dapat disebut mikrostrip, seperti yang ditunjukkan pada gambar B. Gambar C adalah rangkaian mikrostrip yang diilustrasikan mempunyai keuntungan utama dari stripline dan mikrostrip – membiarkan rangkaian – rangkaian diiperumit yang terdiri atas beberapa saluran transmisi yang dihunungkan pada saat bersamaan untuk dibuat secara mudah dengan photoetching. Sinyal gelombang mikro sebenarnya bergerak, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.1 pada material dielektrik antara konduktor dan ground plane. Stripline dan mikrostrip adalah ekuivalen gelombang mikro dari rangkaian pemasangan kawat yang tercetak yang digunakan pada frekuensi rendah. Untuk perbandingan dengan saluran transmisi yang lain, rangkaian mikrostrip dengan 0,025 inchi. Konduktor emas pada sebuah substrat keramik alumina dapat dipertimbangkan. Konfigurasi standar mikrostrip digunakan dalam rangkaian terpadu gelombang mikro.

Karakteristik dari 13 saluran transmisi dibandingkan pada gambar 6.5. grafik menunjukkan bahwa pelemahan pada saluran transmisi (dB / kaki) sebagai fungsi dari frekuensi, dan kemudian yang menunjukkan range frekuensi atau bandwidth dari saluran transmisi seperti juga pelemahan. Ukuran yang menyeluruh dari saluran transmisi (dimensi luarnya) dan kemampuan daya pakai juga ditunjukkan. Saluran transmisi 1 – 4 adalah kable koaksial, ditunjukkan pada gambar 6.2. kable 1 hanya 0,141 inchi pada diameter luarnya, mempunyai padatan pada bagian dalamnya dan konduktor pada bagian luarnya, dan semifleksibel. Beroperasi menyeluruh pada keseluruhan frekuensi gelombang mikro hingga 32 GHz, dimana mode permintaan tinggi disebarkan keluar dan kable tidak digunakan lebih panjang. Sebagai catatan bahwa pelemahan dari setiap koaksial kable meningkat seiring dengan frekuensi, dan pada 32 GHz kable 1 mempunyai pelemahan hampir 1dB/kaki. Kemampuan daya penanganan dari kable koaksial menurun dengan frekuensi, dan nilai yang ditunjukkan pada tabel adalah nilai terendah (bahwa, pada frekuensi tertinggi dari operasi). Pada 32 GHz kable 1 dapat menangani 50 W tenaga. Kable 1 mungkin kable koaksial yang paling umum digunakan dalam peralatan

gelombang mikro, karena ukurannya yang kecil, lebar frekuensi range dan kemampuan daya pakai.

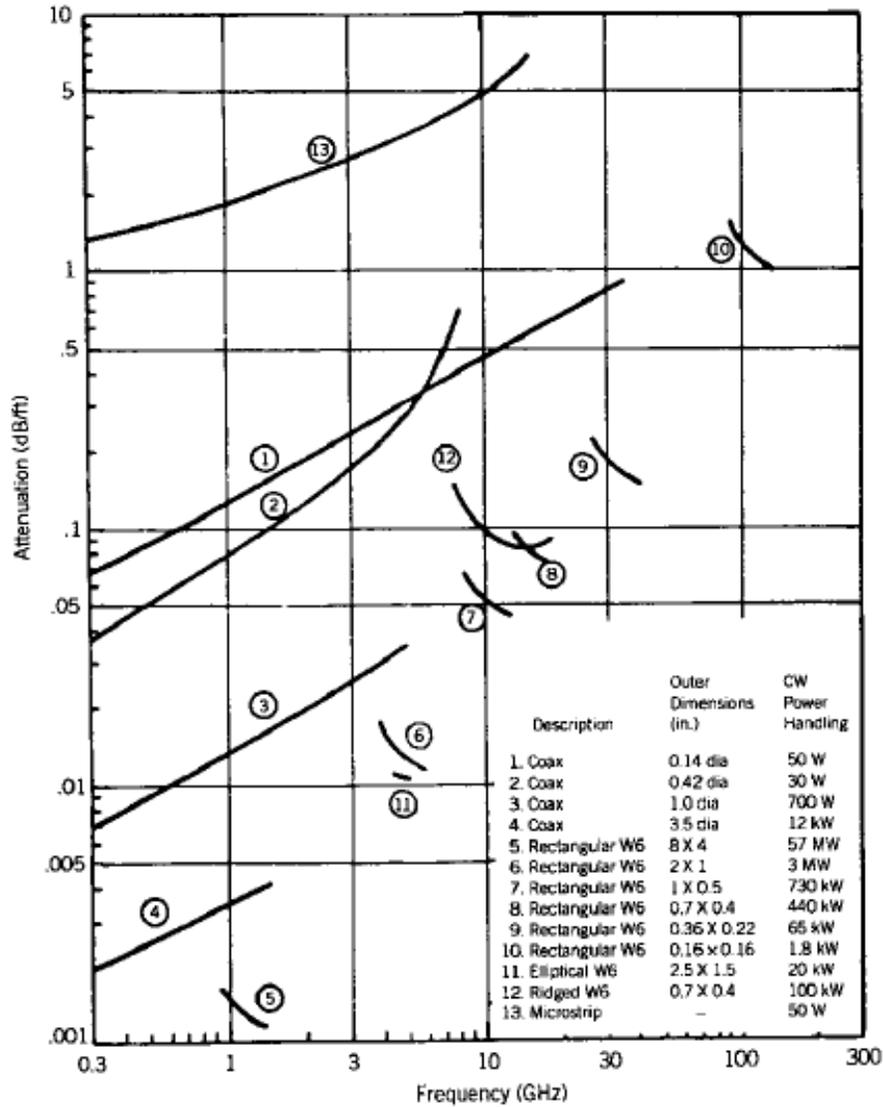
Kabel 2 adalah kable yang fleksibel diameter luarnya alah 0,42 inchi. Karena kabel ini lebar, memiliki kerugian yang rendah pada batas bawah dari pita gelombang mikro, tapi seperti yang dicapai pada maksimum frekuensi dari operasi daya gelombang mikro yang dimulai untuk kebocoran yang melalui konduktor luar dan pelemahan naik dengan cepat. Normalnya, luas kabel, besar kemampuan daya pakai, tapi selubung plastic disekitar sisi luar kabel yang mana melindungi kebocoran, merusak kemampuan transfer panas, jadi kemampuan daya pakai nya lebih rendah dari kable 1. Kabel 3 adalah kable yang lebra,  $\frac{7}{8}$  inchi diameter kable dengan corrugated konduktor luar dan dukungan helical teflon. Memiliki low yang rendah karena ukurannya yang lebar dan kemampuan daya pakai yang tinggi, 700 watt pada frekuensi tertinggi. Bagaimanapun juga, karena ukurannya, hanya dapat beroperasi hingga 5 GHz.

Kable koaksial 4, lebar  $3\frac{1}{8}$  inchi , diameter saluran udara, mempunyai kemampuan daya pakai sekitar 12 kW dan pelemahan yang lemah. Pelemahannya kurang dari 0,005 dB/ft, tapi kabel ini hanya mampu beroperasi hingga 1,3 Ghz dikarenakan ukurannya.

Enam pandu gelombang kotak yang dibandingkan pada gambar 6.5 beroperasi dari 1 samapi 100 GHz. Ukurannya bervariasi dari 8 inchi, dengan 4 inchi untuk pandu gelombang 5 yang beroperasi sekitar 1 GHz dan dapat menangani tenaga kira – kira 57 MW. Dengan 0,16 inchi pada pandu gelombang 10 yang mana beroperasi pada 100 GHz. Tampang lintang pandu gelombang 10 adalah 1mm oleh 2mm (satu millimeter kira – kira seperti penjepit kertas). Karena ukurannya yang kecil, pandu gelombang 10 dapat menangani daya 1,8 KW, tapi pelemahannay sangat tinggi lebih dari 1 dB/ft. pandu gelombang 6 beroperasi antara 4 dan 6 GHz, pandu gelombang 7 antara 8 dan 12 GHz, pandu gelombang no. 8 dari 12 – 18 GHz, dan pandu gelombang 9 dari 26 -40 GHz.

Kemampuan daya pakai nya bervariasi dari 3MW pada daerah 5GHz, sampai 96 kW pada daerah 30 GHz. Sebagai catatan bahwa kemampuan daya pakai dari pandu gelombang ini lebih lebar dari pada kabel koaksial, terutama karena daya serap gelombang mikro pada kabel koaksial kebanyakan diserap pada konduktor dalam dan

tidak ada jalan untuk panas meninggalkan kabel. Daya serap pada pandu gelombang diserap di konduktor luar dan siap dipindahkan. Pelemahan dari kabel koaksial naik sebanding dengan frekuensi, tapi pelemahan dari pandu gelombang menurun sebanding dengan frekuensi, karena pelemahan nya sangat tinggi dekat dengan frekuensi cut – off dan kemudian menurun seperti frekuensi dari operasi yang bergerak jauh dari frekuensi cut – off.

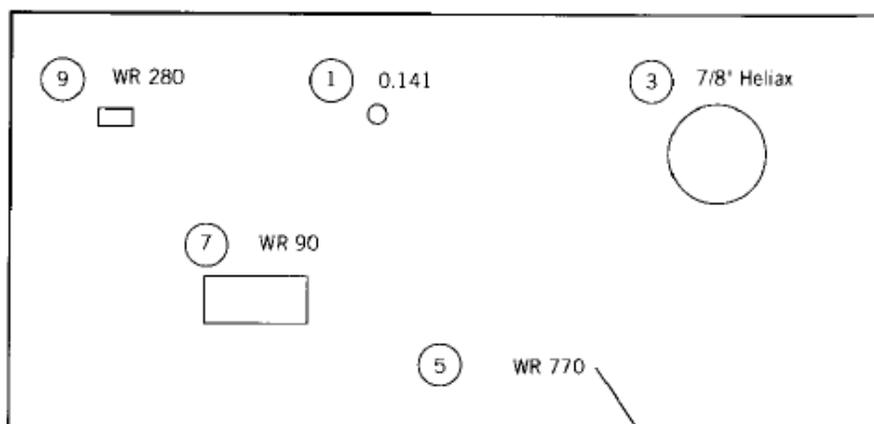


Gambar 6.5 Perbandingan dari saluran transmisi (Allan, 1993)

Kerugian dari pandu gelombang elips 11 lebih rendah dari kerugian pandu gelombang kotak yang beroperasi pada daerah frekuensi yang sama. Kerugian dari pandu gelombang 12 lebih tinggi dari pada pandu gelombang 7 dan 8, tetapi pandu gelombang meliputi sebanyak 2 pandu gelombang kotak yang berkerja bersamaan.

Mengacu pada kable koaksial 1 dan pandu gelombang 9, kedua saluran transmisi tersebut beroperasi pada 30 GHz. Pandu gelombang mempunyai satu dari ke empat kerugian dari kable koaksial dan 2000 waktu kemampuan daya pakai.

Kerugian dari saluran transmisi mikrostrip 13 adalah sangat tinggi, 5dB/ft pada 10 GHz. Ini bukan masalah yang sesungguhnya, karena mikrostrip digunakan untuk membuat interkoneksi kompleks antara saluran transmisi yang berbeda dan tidak untuk perantara gelombang mikro jarak jauh.



Gambar 6.6 Ukuran saluran transmisi

Dimensi luar dari saluran transmisi 13 dapat dilihat pada gambar 6.5. tampang lintangnya dapat dilihat pada gambar 6.6. pandu gelombang 5 adalah 4 dari 8 pada luar dimensi luar dan ukuran yang lebar dibutuhkan untuk pandu gelombang yang beroperasi pada 1GHz. Pandu gelombang 7, yang beroperasi sekitra 10 GHz, kira  $\frac{1}{10}$  lebar, dan pandu gelombang 9, yang mana beroperasi sekitar 30 GHz kira – kira  $\frac{1}{30}$  lebar dari pandu gelombang 1 GHz. Catatan bahwa kable koaksial 1 yang beroperasi pada 1 GHz yang bekerja seperti pandu gelombang 5, tetapi mempunyai diameter hanya 0,141 inchi.

Table 6.2 faktor –faktor yang menentukan dimensi saluran transmisi

Pandu gelombang Lebar range frekuensi Tinggi Daya pakai Perbandingan impedansi karakteristik
Kabel koaksial Diameter luar Frekuensi maksimum
Tentukan perbandingan diameter dalam dan luar impedansi karakteristik

Faktor – faktor penentu dimensi pandu gelombang dan koaksial ditabuasikan pada tabel 6.2. Untuk pandu gelombang, lebarnya menentukan batas frekuensi. Pada pita operasi dari pandu gelombang, lebarnya sekitar tiga perempat dari panjang gelombang ruang hampa. Perbandingan tinggi dan lebarnya adalah 1:2. Menjaga tinggi sebanding dengan setengah kenaikan lebar frekuensi dari mode orde tinggi dan maksimalisasi lebra pita panjang gelombang. Tinggi juga menentukan kemampuan daya pakai dan impedansi pandu gelombang. Tinggi terbesar, daya terbesar yang dapat ditangani pandu gelombang dan karateristik impedansi.

Diameter luar kabel koaksial menentukan kemampuan daya pakai, loss, frekuensi operasi maksimum: diameter luar terbesar, kemampuan daya pakai terbesar, loss terkecil, dan frekuensi maksimum terendah. Perbandingan dari diameter luar dan dalam menentukan impedansi karakteristik dari saluran trnsmisi koaksial.

Kabel koaksial semi kaku yang kecil, seperti kabel 1 digunakan pada sebagian koneksi gelombang mikro pada level tenaga hingga 10 W.

Kabel koaksial tenaga tinggi dan pandu gelombang terutama digunakan untuk menangani tenaga gelombang mikro yang besar dari pemancar radar dan system komunikasi dan menyalurkan tenaga gelombang mikro kecil yang diterima dari antenna ke noise pertama yang rendah.

Pada gelombang millimeter daerah frekuensi (30 sampai 300 GHz), saat pelemahan kabel koaksial sangat tinggi maka pandu gelombang adalah pilihan terbaik, selama level tenaganya hanya beberapa watts.

Untuk sirkuit gelombang mikro terpadu, stripline dan mikro strip adalah pilihan terbaik, untuk sirkuit kompleks yang dapat dibentuk dengan photoetching.

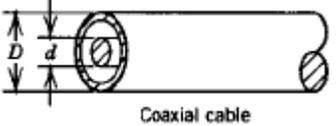
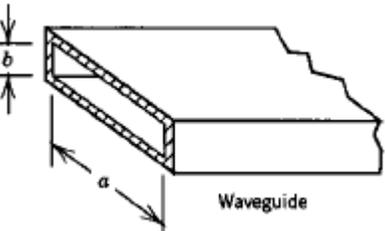
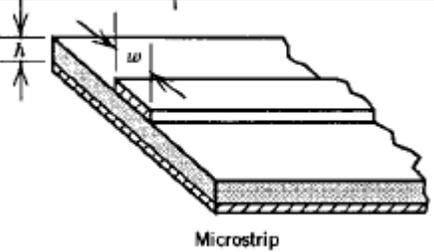
## **6.2 Panjang Gelombang Pandu dan Impedansi Karakteristik**

Panjang gelombang pandu dan impedansi karakteristik dari saluran transmisi gelombang mikro diatur oleh dimensi dan materinya.

Panjang gelombang pandu adalah jarak yang ditempuh oleh sebuah sinyal gelombang mikro pada satu siklus. Ini terkait dengan panjang gelombang ruang hampa, tapi yang dimodifikasi tergantung pada dimensi dan material saluran transmisi.

Impedansi karakteristik ( $\Omega$ ) dari saluran transmisi adalah perbandingan dari medan terhadap medan magnet sinyal gelombang mikro. Berikut adalah gambar perumusan untuk menghitung panjang gelombang pandu dan impedansi karakteristik dari kabel koaksial, pandu gelombang dan mikrostrip, yang diringkaskan di dalam gambar 6.7. Rumusan tersebut tergantung pada panjang gelombang pandu hingga panjang gelombang ruang bebas dan impedansi karakteristik hingga ruang hampa impedansi karakteristik, kira-kira  $377 \Omega$ .

Untuk kabel koaksial, panjang gelombang pandu sebanding panjang gelombang ruang hampa dibagi dengan akar konstanta dielektrik dari material pendukung. Jika kabel koaksial adalah sebuah saluran udara, maka panjang gelombang pandu adalah sama dengan panjang gelombang ruang hampa. Panjang gelombang pandu dari pandu gelombang lebih lengkap, menyertakan perbandingan panjang gelombang ruang hampa dengan lebar pandu. Juga terpengaruh juga oleh konstanta dielektrik material sekitar pandu gelombang, normalnya bukan bahan dielektrik yang digunakan disekitar pandu gelombang, jadi konstanta dielektrik dapat diabaikan. Rumus untuk mikrostrip sangat rumit karena adanya material dielektrik berbeda pada setiap sisi konduktor, misal plastic atau keramik pada satu sisi, dan sisi yang lainnya adalah udara.

Jenis	Panjang gelombang pandu ( $\lambda_g$ )	Impedansi karakteristik ( $Z_0$ )
 Coaxial cable	$\frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}}$	$\frac{377}{\sqrt{\epsilon}}$
 Waveguide	$\frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon} \sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}}$	$\frac{377 b \lambda_g}{\sqrt{\epsilon} a \lambda}$
 Microstrip	$\frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{EFF}}}$	$\frac{377}{\sqrt{\epsilon_{EFF}}} f\left(\frac{\omega}{c}\right)$
	Panjang gelombang Ruang hampa = $\lambda_0 = \frac{300mm}{f(GHz)}$ Impedansi karakteristik ruang hampa = $= 377\Omega$	

Gambar 6.7 Rumus penghitungan panjang gelombang pandu dan impedansi karakteristik

Rumusan untuk impedansi karakteristik dari 3 tipe saluran transmisi terkait dengan  $377 \Omega$ . Ketika sinyal gelombang mikro adalah gaya untuk berpindah pada sekeliling saluran transmisi, impedansi karakteristik (perbandingan medan) tergantung pada dimensi dan material saluran transmisi. Kabel koaksial secara normal dibuat dengan diameter konduktor luar terpilih, relative terhadap konduktor dalam, jadi impedansi karakteristiknya adalah  $50 \Omega$ . Mikrostrip sering dibuat dengan model ini juga, rangkaian mikrostrip ditujukan untuk koneksi saluran koaksial  $50 \Omega$ . Impedansi karakteristik dari pandu gelombang tidak hanya tergantung pada perbandingan tinggi dan lebar tapi juga panjang gelombang pandu dan frekuensi lintas pita yang bervariasi pada pandu

gelombang. Impedansi karakteristik dari koaksial kabel dan mikrostrip bukan ketergantungan frekuensi. Dimensi yang digunakan pada gambar 6.7 adalah dimensi dalam.

Material dielektrik yang umum digunakan untuk kabel koaksial dapat dilihat pada table 6.3. material yang paling umum digunakan adalah teflon dan polyethylene. Keduanya memiliki konstanta dielektrik sekitar 2 dan fleksibel, penting untuk membuat kabel fleksibel dan semi kaku. Teflon mempunyai suhu operasi maksimum 200°C, polyethylene sedikit lebih rendah, yang berarti teflon mempunyai kemampuan daya pakai yang tinggi.

Table 6.3 Bahan dielektrik gelombang mikro.

Bahan	Kontanta dielaktrik	Suhu maksimum	Fleksibilitas
Teflon	2,04	200	Baik
Poly etilen	2,25	150	Baik
Teflon fiberglass	2,55	200	Baik
Boron nitrit	4,4	500	Lemah
Berylia	6,6	500	Sangat lemah
Alumina	9,6	500	Sangat lemah
Epsilam 10	10	150	Baik

Material yang digunakan untuk stripline dan mikrostrip adalah teflon fiberglass, boron nitrit, berilia, alumina dan epsilam. Teflon fiberglass fleksibel dan suhu operasi maksimum 200°C, dimana batas tambahan antara transistor dan dioda dengan pensolderan. Boron nitrit, berilia dan alumina adalah material keramik. Material tersebut dapat mencapai suhu tinggi, tapi fleksibilitasnya berkisar antara kurang sampai sangat kurang dan menjadi keramik keras yang sangat susah untuk dibentuk. Konstanta dielektriknya lebih tinggi dari teflon fiberglass antara 4 sampai 10. konstanta dielektrik terbesar, mencapi bagian terkecil yang mana banyak aplikasi yang diuntungkan. Epsilam 10 yang terutama berkembang dengan karakteristik gelombang mikro yang sama dengan keramik alumina, tapi fleksibel dan mudah dikerjakan mesin.

Contoh dari panjang gelombang pandu dan impedansi dari 3 saluran transmisi berbeda, dihitung pada 10 GHz dirumuskan dengan rumusan pada gambar 6.7

ditunjukkan pada table 6.4. Panjang gelombang ruang hampa pada 10 GHz adalah 30 mm.

Table 6.4 contoh panjang gelombang pandu saluran transmisi dan impedansinya

Pada 10 Ghz dan $\lambda_0 = 30 \text{ mm}$			
Pandu gelombang WR 90			
a=0,900 inchi $\lambda_g = 40 \text{ mm}$	b= 0,400 inchi $Z_0 = 220\Omega$		
Kabel RG 141			
D =0,118 inchi $\lambda_g = 40 \text{ mm}$	b= 0,036 inchi $Z_0 = 50 \Omega$	$\epsilon = 2,04$	
Mikro strip			
w =0,025 inchi $\lambda_g = 12 \text{ mm}$	b= 0,025 inchi $Z_0 = 50 \Omega$	$\epsilon = 10,0$	$\epsilon_{EFF} = 6,7$

Contoh yang pertama adalah pandu gelombang WR 90, yang mana merupakan pandu gelombang mengoperasikan sekitar 10 GHz. Lebar nya 0,900 inchi dan tinggi nya 0,400 inchi. Menurut gambar 6.7, panjang pandu gelombangnya adalah 40 mm dan impedansi karakteristiknya dalah 220 mm 220  $\Omega$ . Panjang gelombang pandu di pandu gelombang lebih besar daripada panjang gelombang runag bebas. Seperti pandu gelombang 7 pada perbandingan saluran transmisi pada gambar 6.5

Contoh selanjutnya adalah 0,141 inchi diameter kabel semi kaku. Diameter dalam dari konduktor luar adalah 0,118 inchi , diameter dari konduktor dalam 0,036 inchi dan material pendukungnya adalah teflon, yang mempunyai konstanta dielektrik 2,04. panjang gelombang pandu adalah 21 mm. Diameter dari konduktor luar dan dalam secara sengaja dipilih untuk memberikan impedansi, dengan digunakan teflon sebgai bahan dielektriknya. Panjang gelombang pandu dari koaksial kabel lebih rendah dari panjang gelombang pada ruang hampa, mengacu pada efek dari material dielektrik pendukung.

Contoh ketiga adalah saluran transmisi 13 pada perbandingan. Mempunyai lebar saluran 0,025 inchi, ketebalan keramik 0,025 inchi dan sebuah substrat keramik alumina dengan konstanta dielektrik 9,6. Dengan rumusan tersebut panjang gelombang pandu dari mikrostrip hanya 12 mm, bandingkan dengan pangjang gelombang ruang hampa 30 mm

atau panjang gelombang teflon yang diisi dengan kabel semi kaku 21 mm. Lebar dari saluran mikrostrip dan ketebalan keramik pendukung, secara sengaja dipilih untuk memberikan  $50 \Omega$  impedansi untuk mikrostrip.

### 6.3 Kabel Koaksial

Rumusan pada gambar 6.7, sepanjang material dielektrik pendukung dari table 6.3, melampirkan metode untuk perancangan kabel koaksial.

Table 6.5 kabel koaksial standar

jenis	fleksibilitas	Diameter luar (inchi)	Impedansi karakteristik (ohms)	Pelemahan (dB/100 ft)		Daya pakai	
				3 GHz	10 GHz	3 GHz	10 GHz
085	SR	0,085	50	34	73	115	48
RG 196	F	0,080	50	78	172	41	14
141	SR	0,141	50	21	45	310	160
RG 58 A	F	0,195	50	41	-	22	-
250	SR	0,250	50	14	29	600	280
RG 214	F	0,425	50	19	47	95	37
RG 59 A	F	0,242	75	25	-	40	-
RG 62 A	F	0,242	93	9	30	40	15

Kadang kabel koaksial perlu untuk dirancang. Secara normal, standar kabel koaksial dapat digunakan secara sederhana untuk menghubungkan peralatan gelombang mikro secara bersamaan, jadi kabel khusus tidak akan mempunyai rancangan. Lebih dari 100 rancangan kabel koaksial tersedia dengan daya kemampuan yang berbeda, pelemahan dan fleksibilitas, dan perancang kabel memilih kabel terbaik untuk pekerjaan tertentu. Beberapa dari kabel koaksial yang umum digunakan dibandingkan pada table 6.5. Kecuali untuk permintaan membawa jumlah tenaga yang besar dengan pelemahan rendah pada akhir rendah dari pita gelombang mikro, dimana saluran udara atau kabel special dengan dielektrik pendukung helical. Kabel RG semuanya fleksibel. Antenuasi

tinggi dan daya pakai rendah dibandingkan pada kabel semi kaku dari perkiraan dengan ukuran yang sama.

#### 6.4 Pandu Gelombang

Rumus pada gambar 6.7 dapat digunakan untuk menghitung impedansi karakteristik dan panjang gelombang pandu dari pandu gelombang. Mereka dapat menggunakan rancangan khusus pandu gelombang untuk bagian yang cocok. Tabel 6.6 adalah daftar pandu gelombang kotak. Catatan bahwa ke 34 pandu gelombang tersebut dibutuhkan untuk menutup secara penuh pita gelombang mikro.

Seperti yang dibicarakan sebelumnya, faktor terpenting yang mempengaruhi pilihan pandu gelombang adalah range frekuensi operasi. Table 6.6 menunjukkan range untuk semua pandu gelombang yang berbeda, dengan dimensi luarnya, pelemahan, dan daya pakai. Pandu gelombang secara spesifik dengan angka WR, yang mana lebar dalam pandu gelombang adalah seperseratus inchi. Sebagai contoh WR 90 adalah 1 inchi oleh ½ inchi pada dimensi luarnya, tapi pada lebar dalam adalah 0,9 inchi.

#### 6.5 Stripline dan Mikrostrip

Seperti pada kabel koaksial atau pandu gelombang, dimana kabel koaksial standar digunakan untuk menghubungkan bagian – bagian dari keseluruhan alat, mikrostrip digunakan didalam piranti gelombang mikro itu sendiri. Dengan konsekuensi stripline khusus dan saluran transmisi mikrostrip perlu untuk di rancang. Contoh stripline dan mikrostrip dapat dilihat pada gambar 6.9.

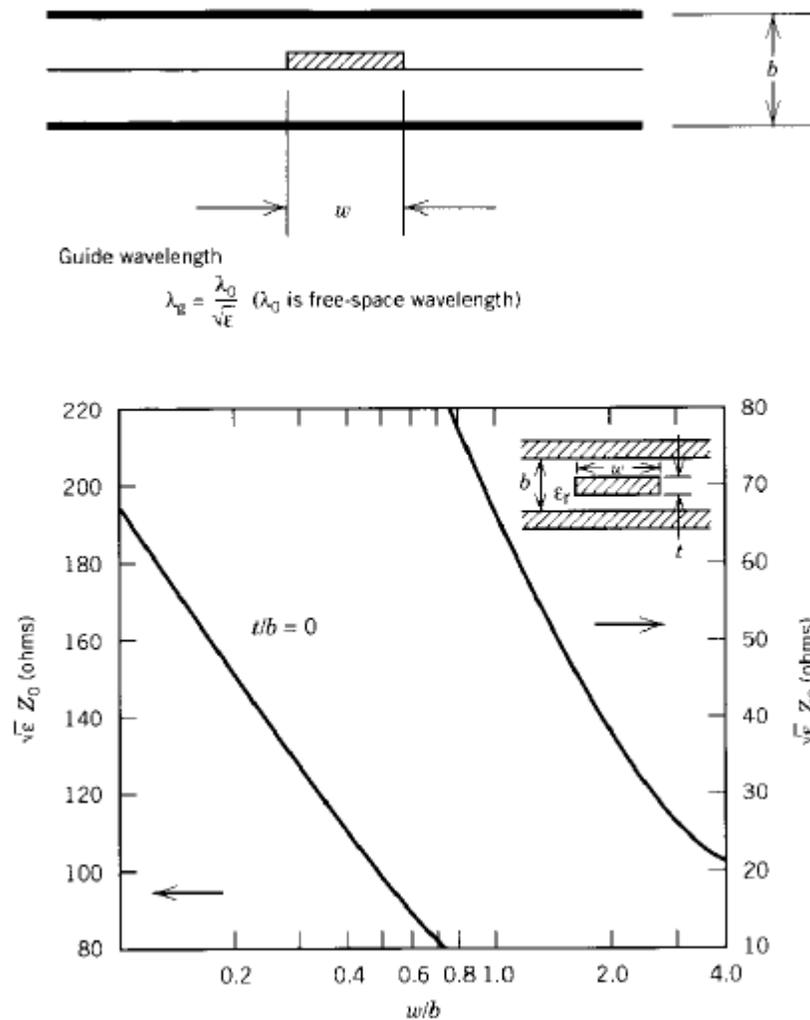
Perlu diingat bahwa material dielektrik terdapat pada kedua sisi penghantar stripline. Pada stripline panjang gelombang pandu  $\lambda_g$  sama dengan panjang gelombang ruang hampa  $\lambda_0$  dibagi dengan akar dari konstanta dielektrik  $\epsilon$  dari material pendukung stripline.

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}}$$

Konstanta dielektrik dari material dapat dilihat pada table 6.3. Secara normal teflon fiberglass digunakan pada stripline dengan konstanta dielektrik mencapai 2,55.

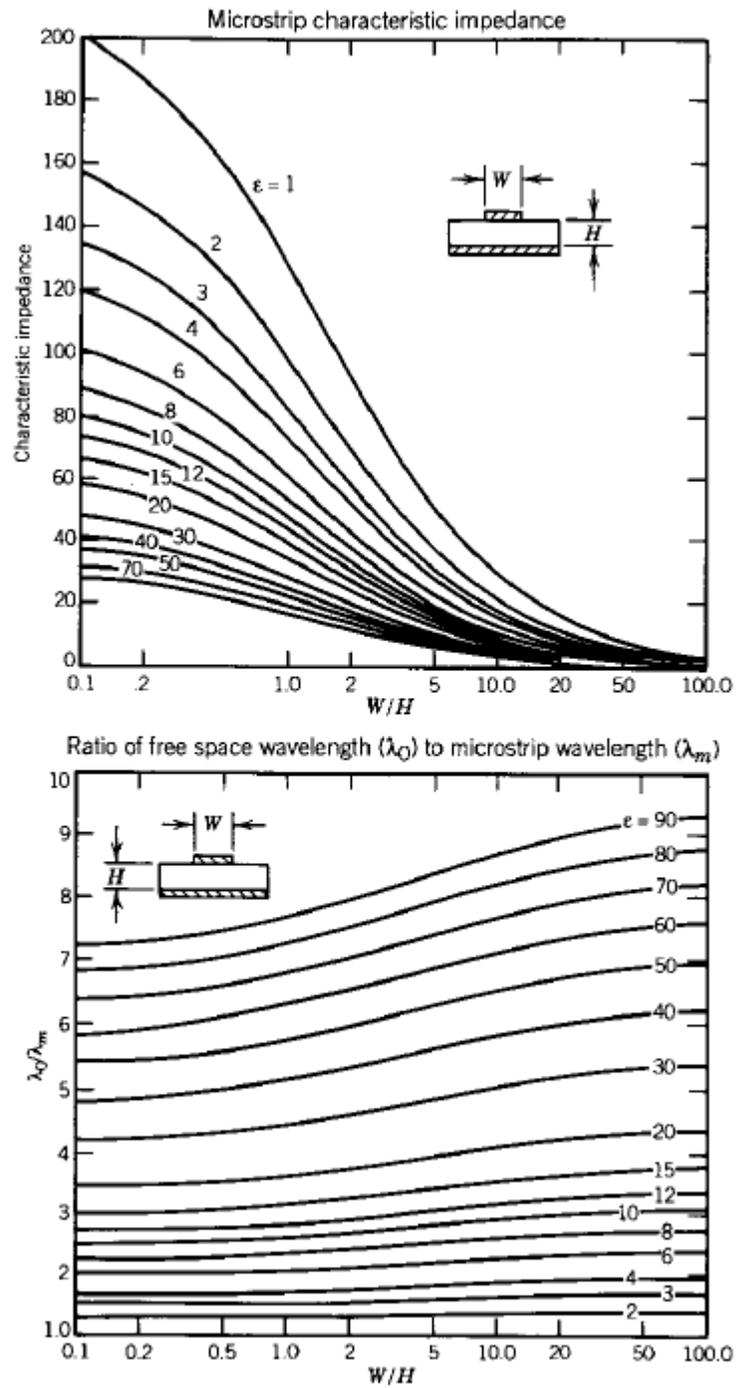
Table 6.6 pandu gelombang segi empat standar (Allan, 1993)

EIA Waveguide Designation (Standard RS-261-A)	JAN Waveguide Designation (MIL-HDBK-216, 4 January 1962)	Outer Dimensions and Wall Thickness (in.)	Frequency Range (GHz) for Dominant (TE <sub>1,0</sub> ) Mode	Theoretical Attenuation, Lowest to Highest Frequency (dB/100 ft)	Theoretical Power Rating (MW) for Lowest to Highest Frequency
WR-2300	RG-290/U	23.250 × 11.750 × 0.125	0.32–0.49	0.051–0.031	153.0–212.0
WR-2100	RG-291/U	21.250 × 10.750 × 0.125	0.35–0.53	0.054–0.034	120.0–173.0
WR-1800	RG-201/U	18.250 × 9.250 × 0.125	0.425–0.620	0.056–0.038	93.4–131.9
WR-1500	RG-202/U	15.250 × 7.750 × 0.125	0.49–0.740	0.069–0.050	67.6–93.3
WR-1150	RG-203/U	11.750 × 6.000 × 0.125	0.64–0.96	0.128–0.075	35.0–53.8
WR-975	RG-204/U	10.000 × 5.125 × 0.125	0.75–1.12	0.137–0.095	27.0–38.5
WR-770	RG-205/U	7.950 × 4.100 × 0.125	0.96–1.45	0.201–0.136	17.2–24.1
WR-650	RG-69/U	6.660 × 3.410 × 0.080	1.12–1.70	0.317–0.212	11.9–17.2
WR-510	—	5.260 × 2.710 × 0.080	1.45–2.20	—	—
WR-430	RG-104/U	4.460 × 2.310 × 0.080	1.70–2.60	0.588–0.385	5.2–7.5
WR-340	RG-112/U	3.560 × 1.860 × 0.080	2.20–3.30	0.877–0.572	—
WR-284	RG-48/U	3.000 × 1.500 × 0.080	2.60–3.95	1.102–0.752	2.2–3.2
WR-229	—	2.418 × 1.273 × 0.064	3.30–4.90	—	—
WR-187	RG-49/U	2.000 × 1.000 × 0.064	3.95–5.85	2.08–1.44	1.4–2.0
WR-159	—	1.718 × 0.923 × 0.064	4.90–7.05	—	—
WR-137	RG-50/U	1.500 × 0.750 × 0.064	5.85–8.20	2.87–2.30	0.56–0.71
WR-112	RG-51/U	1.250 × 0.625 × 0.064	7.05–10.00	4.12–3.21	0.35–0.46
WR-90	RG-52/U	1.000 × 0.500 × 0.050	8.20–12.40	6.45–4.48	0.20–0.29
WR-75	—	0.850 × 0.475 × 0.050	10.00–15.00	—	—
WR-62	RG-91/U	0.702 × 0.391 × 0.040	12.40–18.00	9.51–8.31	0.12–0.16
WR-51	—	0.590 × 0.335 × 0.040	15.00–22.00	—	—
WR-42	RG-53/U	0.500 × 0.250 × 0.040	18.00–26.50	20.7–14.8	0.043–0.058
WR-34	—	0.420 × 0.250 × 0.040	22.00–33.00	—	—
WR-28	RG-96/U	0.360 × 0.220 × 0.040	26.50–40.00	21.9–15.0	0.022–0.031
WR-22	RG-97/U	0.304 × 0.192 × 0.040	33.00–50.00	31.0–20.9	0.014–0.020
WR-19	—	0.268 × 0.174 × 0.040	40.00–60.00	—	—
WR-15	RG-98/U	0.228 × 0.154 × 0.040	50.00–75.00	52.9–39.1	0.0063–0.0090
WR-12	RG-99/U	0.202 × 0.141 × 0.040	60.00–90.00	93.3–52.2	0.0042–0.0060
WR-10	—	0.180 × 0.130 × 0.040	75.00–110.00	—	—
WR-8	RG-138/U	0.140 × 0.100 × 0.030	90.00–140.00	152–99	0.0018–0.0026
WR-7	RG-136/U	0.125 × 0.0925 × 0.030	110.00–170.00	163–137	0.0012–0.0017
WR-5	RG-135/U	0.111 × 0.0855 × 0.030	140.00–220.00	308–193	0.00071–0.00107
WR-4	RG-137/U	0.103 × 0.0815 × 0.030	170.00–260.00	384–254	0.00052–0.00075
WR-3	RG-139/U	0.094 × 0.0770 × 0.030	220.00–325.00	512–384	0.00035–0.00047



Gambar 6.8 rumusan rancangan untuk *stripline* (Allan, 1993)

Impedansi karakteristik  $Z_0$  dari stripline tergantung pada ketebalan  $b$  dari dielektrik pendukung dan pada lebar  $w$  dari strip pendukung, dan hubungannya dapat dilihat dalam grafik pada gambar 6.8 Dengan  $Z_0 \sqrt{\epsilon}$  Vs  $w/b$ . Sebagai catatan bahwa  $b$  adalah tebal keseluruhan dari dua laminasi, satu diatas dan satu dibawah strip. Ketebalan dari strip itu sendiri adalah 0,0007 inchi. Laminasi material pendukung biasanya 0,030 atau 0,062 inchi. Oleh karena itu, ketebalan laminasi yang digunakan  $b = 2 \times 0,030 = 0,060 \text{ inchi}$ .



Gambar 6.9 Rancangan rumusan untuk mikrostrip (Allan, 1993)

**Contoh 6.1**

Rancangan sebuah stripline  $50\Omega$  menggunakan teflon fiberglass dengan ketebalan 0,03. Tentukan panjang gelombang pandu pada saat 3GHz.

Penyelesaian:

$$Z_0\sqrt{\epsilon} = 50\sqrt{2,55} = 79,8\Omega$$

Dari gambar 6.8

$$\frac{w}{b} = 0,75$$

$$w = (0,75)(2 \times 0,03) = 0,045 \text{ inchi}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{10 \text{ cm}}{\sqrt{2,55}} = 6,26 \text{ cm}$$

Grafik untuk mikrostrip ditunjukkan pada gambar 6.9. Rumus yang digunakan untuk panjang gelombang pandu dan impedansi mikrostrip sedikit lebih rumit karena karena konstanta dielektrik pada lapisan atasnya berbeda dengan lapisan bawahnya. Sebagai konsekuensinya, maka rancanganya harus diselesaikan secara grafik. Grafik atas pada gambar 6.9 menunjukkan impedansi karakteristik dari saluran mikrostrip sebagai fungsi dari lebar garis terhadap perbandingan ketebalan dielektrik pendukung untuk berbagai nilai dari konstanta dielektrik material pendukung. Garafik bawah menunjukkan pengurangan dari panjang gelombang ruang hampa pada saluran mikrostrip sebagai fungsi dari lebar terhadap perbandingan ketebalan ( $w/h$ ) untuk berbagai konstanta dielektrik. Nilai yang biasa digunakan dari gambar 6.9 adalah :

Bahan	Konstanta dielektrik	$w/h$ untuk impedansi $50\Omega$	Reduksi panjang gelombang ruang hampa
Teflon fiberglass	2,55	3	1,5
alumina	9,6	1	2,5

**Contoh 6.2**

Cari lebar saluran dan panjang gelombang pandu  $50\Omega$  saluran mikrostrip dengan tebal alumina 0,025 inchi, ( $\epsilon = 9,6$ ) pada 10 GHz

$$\frac{w}{h} = 1,0 \quad (Z_0 = 50\Omega, \epsilon = 9,6)$$

$$w = 1,0 h = 1,0 \times 0,025 = 0,025 \text{ inchi}$$

Dari grafik gambar 6.9

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_g} = 2,5 \quad \left(\frac{w}{h} = 1,0, \epsilon = 9,6\right)$$

Sehingga

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} = \frac{30/f}{2,5} = \frac{30/10}{2,5} = 1,2 \text{ cm}$$

**Contoh 6.3**

Berapa lebar saluran dan panjang gelombang pandu  $30 \Omega$  saluram mikrostrip pada ketebalam alumina 0,0025 inchi , ( $\epsilon = 9,6$ ) pada 10 GHz

Penyelesaian :

$$\frac{w}{h} = 1,0 \quad (Z_0 = 50\Omega, \epsilon = 9,6)$$

$$w = 2,5 \times 0,025 = 0,0625 \text{ inchi}$$

Dari grafik gambar 6.9

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_m} = 2,6$$

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} = \frac{3,0}{2,6} = 1,16 \text{ cm}$$

**Contoh 6.4**

Berapa lebar saluran dan panjang gelombang pandu  $50 \Omega$  saluran mikrostrip pada ketebalan Teflon-fiberglass 0,0062 inchi , ( $\epsilon = 2,55$ ) pada 10 GHz

Penyelesaian :

$$\frac{w}{h} = 3,0 \quad (Z_0 = 50\Omega, \epsilon = 2,55)$$

$$w = 3,0 \times 0,062 = 0,186 \text{ inchi}$$

Dari grafik gambar 6.9

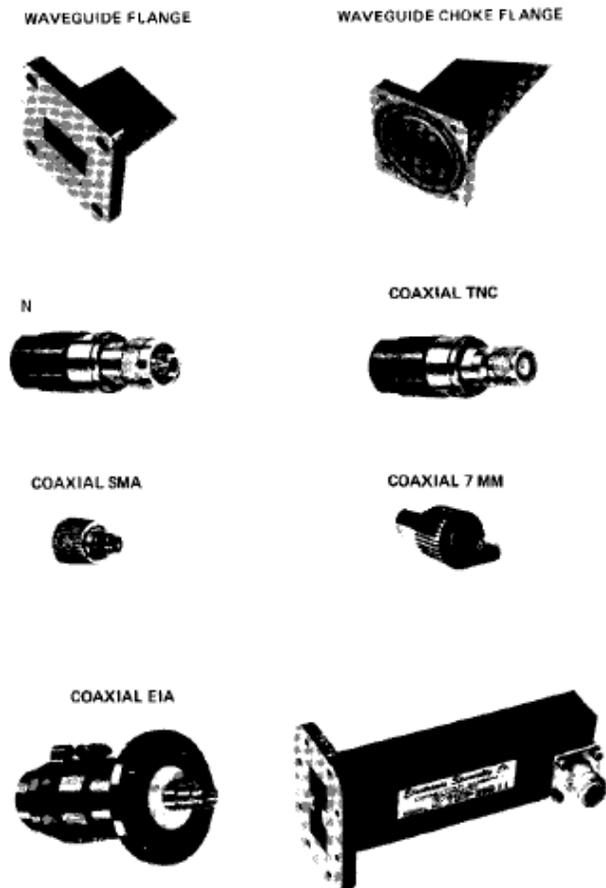
$$\frac{\lambda_0}{\lambda_m} = 1,5$$

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{1,5} = \frac{3,0}{1,5} = 2,0 \text{ cm}$$

**6.6 konektor dan adaptor**

Tipe dari konektor dan adaptor dari saluran transmisi yang berbeda ditunjukkan pada gambar 6.10.

Pandu gelombang mudah untuk dihubungkan karena tidak mempunyai konduktor dalam. Mereka hanya dikancingkan bersamaan pada arah-arah ke akhir pandu gelombang (gambar 6.10). Karah datar sederhana digunakan untuk sebagian besar penghubung. Tekanan karah pada sebelah kanan atas mengurangi kebocoran gelombang mikro sepanjang celah dimana karah tidak terpasang secara sempurna, diperbolehkan untuk menggunakan tali – tali antara karah – karah sehingga campuran gas pekat dapat terbentuk. Pandu gelombang dapat terisi dengan inert, seperti nitrogen atau sulfur heksafluorida, untuk meningkatkan puncak kemampuan daya pakai.



Gambar 6.10 konektor saluran transmisi

Gambar tengah keempat adalah konektor kabel koaksial. Membuat sebuah konektor koaksial sangatlah sulit karena konduktor luar dan dalam harus digabungkan. Konektor koaksial N dan TNC terdiri dari tuas dan steker dan satu lapisan konduktor luar pada satu sisi lainnya untuk memastikan terpasang secara sempurna, seperti konduktor luar yang dihubungkan. Konektor yang sebenarnya adalah bagian kecil didalam pada photograph, dan bagian benang luar adalah mekanisme penjepit. Konektor dengan ketelitian 7 mm mempunyai sebuah pegas pada konduktor luar. Ketelitian konektor kemudian mencapai bentuk yang sempurna dari saluran transmisi dan pantulan tenaga minimum pada saat koneksi. N dan ketelitian konektor mengoperasikan mode bebas hingga 18 GHz. Konektor TNC diisi dengan Teflon dan dapat digunakan untuk operasi tinggi, tetapi materi koaksial didalamnya membatasi mode bebas konektor hingga 16 Ghz. Konektor SMA ukurannya setengah dari konektor TNC (diameter dalam 3,5 mm) dan mode bebas

beroperasi hingga 32 GHz. Sesuai dengan kabel semifleksibel 0,141 inchi yang mana digunakan sebagai kabel 1 dari perbandingan kabel dan beroperasi hingga 32 GHz. Konektor koaksial EIA ditunjukkan di kanan bawah yang digunakan untuk menghubungkan saluran udara kabel koaksial.

Sebuah adaptor pandu gelombang ke kabel koaksial ditunjukkan pada kiri bawah gambar 6.10 dan diilustrasikan satu dari banyak kombinasi untuk menghubungkan satu saluran transmisi ke tipe lainnya.



# DAFTAR NILAI

## SEMESTER GENAP REGULER TAHUN 2019/2020

Program Studi : Teknik Elektro S1  
Matakuliah : Piranti Gelombang Mikro  
Kelas / Peserta : H  
Perkuliahan : Kampus ISTN Durentiga  
Dosen : Djoko Suprijatmono, Ir., MT.

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			0%	0%	0%	100%	0%	0%		
1	16223755	Fitri Nurfatmawati	100	0	0	0	0	0	0	
2	16223758	Efriadon Lumbantoruan	100	0	70	70	0	0	70	<b>B</b>
3	18223702	Faris Fawzan Azim	100	0	70	70	0	0	70	<b>B</b>
4	18223704	Bayu Prasojo	100	0	70	70	0	0	70	<b>B</b>
5	18223709	Naufal Zuhdi Kresnureza	100	0	70	70	0	0	70	<b>B</b>
6	18223710	Leo K Sinaga	100	0	50	70	0	0	70	<b>B</b>
7	19223703	Riza Puspitaningrum	100	0	70	70	0	0	70	<b>B</b>

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	0	C+	0	D+	0
A-	0	B	6	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 5 September 2020

Dosen Pengajar

**Djoko Suprijatmono, Ir., MT.**