



Saluran Transmisi Telekomunikasi





BAB 1

KONSEP MEDIA TRANSMISI

1.1 Pendahuluan

1.1.1 Definisi Saluran Transmisi

1.1.2 Konsep Dasar Saluran Transmisi

1.2 Medan Elektromagnetik

1.2.1 Cepat Rambat

1.2.2 Frekuensi

1.2.3 Panjang Gelombang

1.2.4 Impedansi Karakteristik

1.3 Syarat Batas Medan Elektromagnetik

1.3.1 Syarat Batas Dielektrik ($\alpha = 0$)

1.3.2 Permukaan Konduktor ($\alpha = \infty$)

1.4 Mode Gelombang

1.5 Terminasi dan Refleksi



BAB 1

KONSEP MEDIA TRANSMISI

1.1 Pendahuluan

Penyampaian informasi dari sumber informasi (komunikator) ke penerima informasi (komunikan) hanya dapat terlaksana bila ada semacam sistem alat penghubung (media) di antara keduanya. Sistem tersebut disebut dengan *sistem transmisi*. Bila jarak antara komunikator dan komunikan saling berdekatan, maka sistem transmisi cukup dengan penggetaran udara di sekitarnya. Tetapi bila jaraknya cukup jauh, maka dibutuhkan sistem transmisi yang lebih kompleks.

Suatu sistem transmisi terdiri dari lebih dari satu media transmisi, yang secara umum dibedakan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu :

- ✓ Media fisik : adalah kabel (*wired*), yang lebih umum disebut dengan saluran transmisi (*transmission line*)
- ✓ Media non-fisik : merupakan udara (yang lebih dikenal dengan *wireless*)

1.1.1 Definisi Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah setiap bentuk hubungan secara listrik, baik berupa kawat penghantar, kabel dan lain-lain yang menghubungkan suatu sumber sinyal ke beban. Jika sepasang kawat penghantar itu dianggap terlalu panjang, maka dapat mengekivalenkan penghantar tersebut sebagai sekumpulan induktor dan kapasitor.

1.1.2 Konsep Dasar Saluran Transmisi

Apabila antara sumber sinyal dan beban dihubungkan oleh suatu saluran transmisi, maka :

- 1) Arus akan mengalir di sepanjang saluran dan akan membangkitkan medan magnet yang menyelimuti penghantar itu sendiri dan adakalanya medan magnet ini akan saling berimpit dengan medan magnet lain yang berasal dari kawat penghantar lain yang berasal dari kawat penghantar lain disekitarnya. Medan magnet yang dibangkitkan oleh kawat penghantar berarus listrik ini merupakan suatu timbunan energi yang tersimpan dalam kawat penghantar tersebut. Gejala tersebut menyebabkan saluran bersifat induktif.
- 2) Akan terjadi beda tegangan antara ke dua kawat penghantar sehingga membangkitkan medan listrik. Medan ini juga merupakan timbunan energi yang mungkin juga akan terjadi tumpang tindih dengan medan listrik lain disekitarnya. Gejala tersebut menyebabkan saluran bersifat kapasitif.
- 3) Gejala-gejala tersebut di atas akan menyebabkan terjadinya aliran energi gelombang elektromagnetik dalam saluran transmisi.

1.2 Medan Elektromagnetik

Dalam saluran transmisi, adakalanya medan listrik dan medan magnet akan selalu saling tegak lurus satu sama lain, dan gabungan anantara kedua medan tersebut dinamakan medan elektromagnetik.

Tegangan, arus dan medan elektromagnetik saling memiliki pengaruh secara timbal balik satu sama lain, sehingga bila pada medan elektromagnetik mengalir mengikuti suatu kawat penghantar, serta bila karena sesuatu hal tegangan berubah, maka medan elektromagnetik akan mengikuti perubahan itu. Atau sebaliknya, apabila ada sesuatu hal yang menyebabkan medan elektromagnetik itu berubah, maka tegangan dan arus akan mengikutinya.

1.2.1 Cepat Rambat

Cepat rambat medan elektromagnetik di udara mendekati cepat rambat di ruang hampa, yaitu 299.792.462 meter/detik (sekitar 3×10^8 meter/detik). Bila gelombang tersebut merambat dalam bahan dielektrik, maka cepat rambatnya akan lebih kecil dari harga di atas. Semakin besar harga k suatu bahan dielektrik, maka cepat rambat akan semakin kecil. Hubungan antara kecepatan dan harga k dapat dituliskan sebagai :

$$\text{Cepat rambat (meter/detik)} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{k}}$$

Bila diketahui distribusi induktansi L dan kapasitansi C , maka cepat rambat gelombang dalam suatu saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*loss/less*) dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Cepat rambat (meter/detik)} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

1.2.2 Frekuensi

Frekuensi menyatakan banyaknya gelombang dalam satu detik, dan dinyatakan dengan 'herzt' (disingkat Hz). Dalam perambatan gelombang dalam saluran transmisi, cepat rambat dan panjang gelombang boleh jadi akan berubah jika memasuki medium (bahan dielektrik) yang berbeda, tetapi frekuensi gelombang akan selalu tetap tanpa pengaruh medium yang dilewatinya.

Jika periode gelombang dinyatakan dengan T (detik), maka frekuensi gelombang tersebut merupakan kebalikan dari T , dan dinyatakan:

$$\text{Frekuensi (hertz)} = \frac{1}{T} (\text{herzt})$$

Konstanta Dielektrik Dan Kecepatan Rambat Gelombang Elektromagnetik Pada Bahan Isolator

MATERIAL	KONSTANTA DIELKTRIK (k)	KECEPATAN (METER/DETIK)
Ruang hampa	1,000	300×10^6
Udara	1,0006	$299,2 \times 10^6$
Teflon	2,100	207×10^6
Polyethylene	2,270	199×10^6
PVC	3,300	165×10^6
Nylon	4,900	136×10^6
Polystyrene	2,500	190×10^6

1.2.3 Panjang Gelombang

Panjang gelombang dari suatu gelombang elektromagnetik berbanding lurus dengan harga cepat rambat. Bila suatu sinyal frekuensi tinggi merambat pada suatu saluran transmisi dengan bahan dielektrik k , maka panjang gelombangnya akan tergantung juga pada harga k dari bahan dielektrik saluran menurut hubungan

$$\text{Panjang gelombang (meter)} = \frac{300 \times 10^6}{\sqrt{k \times \text{frekuensi (Hz)}}}$$

1.2.4 Impedansi Karakteristik

Impedansi karakteristik saluran tanpa rugi-rugi diberikan dengan persamaan berikut :

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Dimana L = induktansi per satuan panjang (H/m)

C = kapasitansi per satuan panjang (F/m)

Berdasarkan pengukuran, impedansi karakteristik dinyatakan sebagai impedansi yang diukur di ujung suatu saluran transmisi dengan menganggap panjang saluran itu tak berhingga. Untuk kondisi ini, maka pemasangan beban sebesar Z_o di ujung lain dari saluran dengan panjang berhingga tidak akan menimbulkan efek. Pada kondisi ini, impedansi karakteristik saluran transmisi dapat diperoleh dari perbandingan tegangan maju dan arus maju yang menuju ke beban pada ujung tak berhingga

Impedansi karakteristik (Z_o) =

$$\frac{TeganganMaju}{ArusMaju}$$

Contoh Soal:

Hitunglah impedansi karakteristik saluran kawat sejajar bila induktansi setiap kawat adalah 0,25 μH per meter dan kapasitansi antar kawat sebesar 30 pF per meter

Jawab :

Induktansi yang telah diketahui sebesar 0,25 μH per meter itu adakah untuk satu kawat. Untuk induktansi total per meter dari saluran dua kawat, maka harga di atas harus dikalikan dua sehingga $L = 0,5 \mu\text{H}$ dan $C = 30\text{pF}$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,5 \times 10^{-6}}{30 \times 10^{-12}}} = 129 \Omega$$

1.3 Syarat Batas Medan Elektromagnetik

Syarat batas medan elektromagnetik merupakan salah satu prasyarat dalam mempelajari suatu waveguide. Persamaan-persamaan dasar menggambarkan sebuah fenomena, bahwa gelombang elektromagnetik diturunkan dari persamaan Maxwell dan dua persamaan kontinuitas. Apabila persamaan-persamaan itu dalam bentuk persamaan diferensial, maka syarat batas harus digunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan yang khusus

1.3.1 Syarat Batas Dielektrik ($\alpha = 0$)

- 1) Komponen tangensial dari intensitas medan listrik dan intensitas medan magnet, E dan H harus kontinyu pada batas antara dua material.

$$E_{t1} = E_{t2} \quad ; \quad H_{t1} = H_{t2}$$

- 2) Komponen normal dari kerapatan fluks listrik dan fluks magnet (D dan B) kontinyu pada batas antara dua material. untuk $\alpha = 0$

$$D_{n2} = D_{n1} \quad ; \quad B_{n1} = B_{n2}$$

1.3.2 Permukaan Konduktor ($\alpha = \infty$)

Apabila diasumsikan bahwa permukaannya adalah konduktor sempurna, maka akan terlihat bahwa E_{t2} adalah nol sepanjang batas antara dua material

$$E_{t1} = E_{t2} = 0$$

Tetapi komponen normal dari intensitas medan listrik tetap ada, seperti diperlihatkan pada gambar 1.1(a). Apabila tidak terdapat muatan magnetik pada permukaan, maka B_n adalah nol. Oleh karena itu garis-garis gaya magnetik digambarkan suatu rangkaian tertutup, seperti diperlihatkan pada gambar 1.1(b)

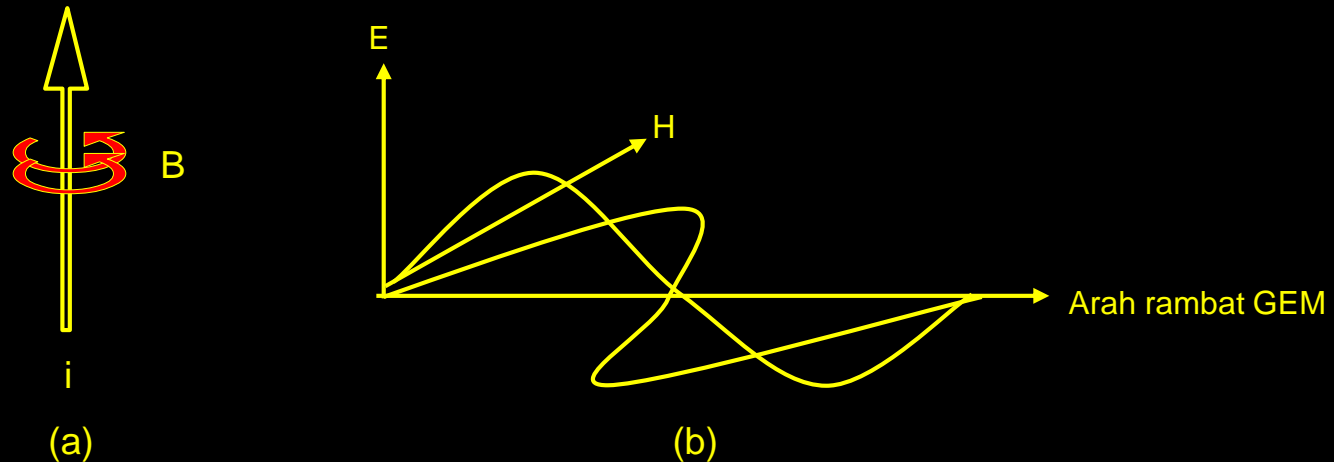


Gambar 1.1. Syarat Batas Permukaan konduktor

1.4 Mode Gelombang

Untuk memahami yang lebih mendalam tentang bentuk dari transmisi energi, akan lebih mudah bila melalui pemahaman tentang saluran transmisi. Oleh karena itu, kita harus mengenal konsep-konsep dasar dari saluran transmisi.

Dari dasar teori medan, telah kita ketahui bersama bahwa akan terdapat hubungan antara medan listrik dan medan magnet, dengan tegangan dan arus seperti ditunjukkan pada gambar 1.2(a).



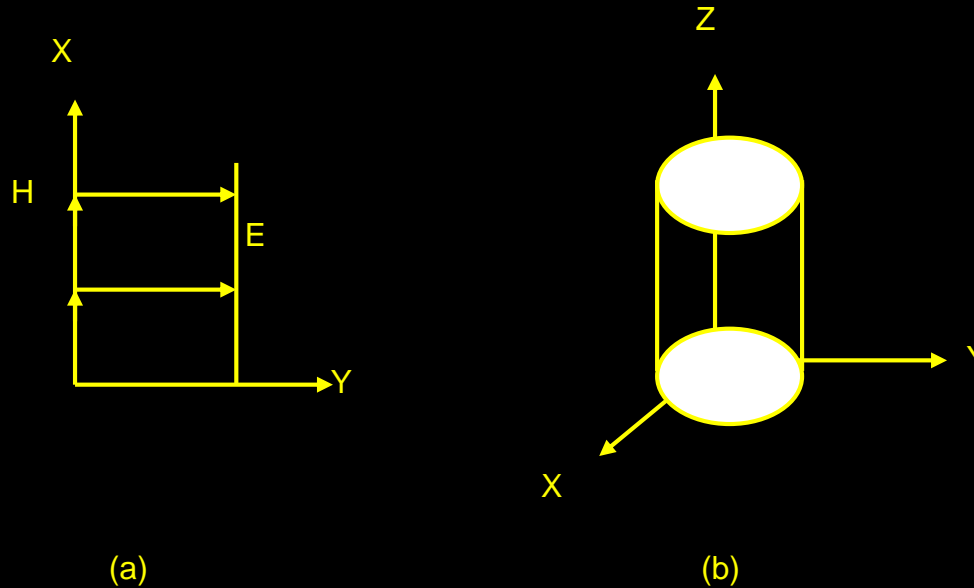
Gambar 1.2. Gelombang Berjalan pada Saluran Transmisi dari kawat terbuka

Dari sudut pandang ini, kita melihat bahwa medan listrik dan medan magnet tampak berjalan bersama pada kecepatan yang sama dalam medium

Gambar dari medan listrik dan medan magnet jika dilihat secara melintang dari ujung-ujung kawat ditunjukkan dalam gambar 1.2(b). Gelombang seperti itu, mempunyai ciri tidak ada medan listrik dan medan magnet dalam arah rambatan gelombang

Mode seperti ini disebut mode TEM (*transverse electric and magnetic*), yaitu medan listrik dan medan magnet yang melintang dari arah rambatan. Apabila medan listrik saja yang melintang dari arah rambatan, maka mode seperti ini disebut mode TE (*transverse electric*)

Dan apabila medan magnetnya saja yang melintang dari arah rambatan, maka mode ini disebut mode TM (*transverse magnetic*). Mode TE dan TM akan dapat terjadi didalam suatu pipa berongga pemandu gelombang (waveguide), seperti pada gambar 1.3.



Bumbung gelombang bentuk persegi
(mode TE)

Bumbung gelombang bentuk silinder
(mode TM)

Gambar 1.3. Bentuk Gelombang Terbimbing

1.5 Terminasi dan Refleksi

Jika suatu sumber (generator) mengirimkan gelombang ke beban melalui suatu saluran transmisi, maka akan terjadi dua kemungkinan pada saat gelombang tersebut sampai pada beban, yaitu *determinasi* di beban atau *direfleksi* (dipantulkan) lagi oleh beban ke sumber.

Besarnya sinyal yang kembali menuju sumber ini tergantung pada bagaimana ketidaksesuaian antara impedansi karakteristik saluran terhadap impedansi beban. Perbandingan level tegangan yang datang menuju beban dan yang kembali ke sumbernya lazim disebut koefisien refleksi dan dinyatakan dengan simbol Γ . Harga koefisien refleksi ini dapat bervariasi antara 0 (tanpa pantulan) sampai 1, yang berarti sinyal yang datang ke beban seluruhnya dipantulkan kembali ke sumbernya.

$$\Gamma = \frac{V_{refleksi}}{V_{maju}} \quad (\text{tanpa satuan})$$

Hubungan antara koefisien refleksi, impedansi karakteristik dan impedansi beban dapat ditulis:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o}$$

Dimana : Z_o = impedansi karakteristik saluran (Ω)
 Z_L = impedansi beban (Ω)

Contoh Soal

Suatu saluran transmisi mempunyai $Z_o = 200 \, \Omega$, $Z_L = R_L = 300 \, \Omega$, tegangan maju (tegangan yang merambat menuju beban) $V^+ = 100 \, \text{mV}$. Berapakah koefisien refleksi, tegangan yang direfleksikan serta tegangan pada beban ?

Penyelesaian

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{300 - 200}{300 + 200} = 0,2$$

Sehingga tegangan refleksi dapat dicari dengan persamaan seperti berikut ini:

$$\begin{aligned} V^- &= \Gamma V^+ \\ &= 0,2 \times 100 \, \text{mV} \\ &= 20 \, \text{mV} \end{aligned}$$

Tegangan di beban dapat dihitung : $V_L = V^+ + V^- = 100 \, \text{mV} + 20 \, \text{mV} = 120 \, \text{mV}$

Daya input (daya datang atau daya yang dikirimkan ke arah beban) dapat dihitung sebagai berikut :

$$P^+ = V^+ \cdot I^+ = \frac{(V^+)^2}{Z_o} = \frac{(0,1)^2}{200} = 0,05 \, \text{mW}$$

Daya yang dipantulkan kembali ke arah sumber dapat pula dihitung sebagai :

$$\begin{aligned}P^- &= \Gamma^2 \cdot P^+ \\&= (0,2)^2 \times 0,05 \text{ mW} \\&= 0,002 \text{ mW}\end{aligned}$$

Sehingga daya yang diserap oleh beban adalah :

$$\begin{aligned}P^L &= P^+ - P^- \\&= 0,05 \text{ mW} - 0,002 \text{ mW} \\&= 0,048 \text{ mW}.\end{aligned}$$

SOAL-SOAL :

- 1) Jelaskan yang anda ketahui tentang saluran transmisi dan berilah beberapa contoh tentang saluran transmisi yang umum digunakan dalam sistem telekomunikasi.
- 2) Hitunglah cepat rambat gelombang elektromagnetik yang merambat pada medium dielektrik dengan $k = 2,50$
- 3) Hitunglah panjang gelombang di udara dari frekuensi-frekuensi berikut ini : 45 KHz, 46 MHz, 5,8 GHz, 35,4 GHz
- 4) Ulangi soal 3, bila gelombang tersebut merambat pada bahan dielektrik dengan $k = 3,20$
- 5) Saluran transmisi diketahui mempunyai induktansi total sebesar $0,50 \mu\text{H}$ per meter dan kapasitansi 40 pF per meter. Hitunglah harga impedansi karaktersitik saluran tersebut
- 6) Suatu saluran transmisi dengan $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_L = R_L = 75 \Omega$, tegangan maju $V_+ = 12,50 \text{ volt}$. Hitunglah besar koefisien refleksi, tegangan yang direfleksikan serta tegangan pada beban

SOAL-SOAL :

- 1) Jelaskan yang anda ketahui tentang saluran transmisi dan berilah beberapa contoh tentang saluran transmisi yang umum digunakan dalam sistem telekomunikasi.
- 2) Hitunglah cepat rambat gelombang elektromagnetik yang merambat pada medium dielektrik dengan $k = 2,50$
- 3) Hitunglah panjang gelombang di udara dari frekuensi-frekuensi berikut ini : 45 KHz, 46 MHz, 5,8 GHz, 35,4 GHz
- 4) Ulangi soal 3, bila gelombang tersebut merambat pada bahan dielektrik dengan $k = 3,20$
- 5) Saluran transmisi diketahui mempunyai induktansi total sebesar $0,50 \mu\text{H}$ per meter dan kapasitansi 40 pF per meter. Hitunglah harga impedansi karaktersitik saluran tersebut
- 6) Suatu saluran transmisi dengan $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_L = RL = 75 \Omega$, tegangan maju $V_+ = 12,50 \text{ volt}$. Hitunglah besar koefisien refleksi, tegangan yang direfleksikan serta tegangan pada beban

BAB 2

PRINSIP SALURAN TRANSMISI DAN WAVEGUIDE

2.1 Rangkaian Ekuivalen

2.2 Saluran Transmisi Beban Sesuai (*Match*)

2.3 Saluran Transmisi Beban Tidak Sesuai (*Missmatch*)

2.4 Saluran Transmisi Beban Hubung Singkat

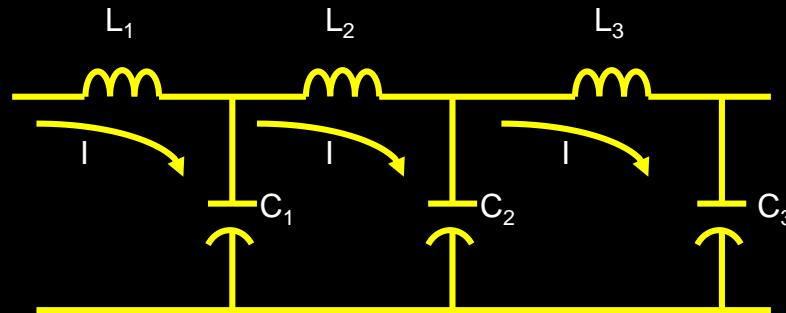
2.5 Saluran Transmisi Beban Terbuka

2.6 Impedasi Input

2.7 *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*

2.1 Rangkaian Ekuivalen

Rangkaian ekuivalen suatu saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*loss/less*) dapat digambarkan dengan terdistribusinya rangkaian induktansi L_1 , L_2 , L_3 , ... seri dan kapasitansi C_1 , C_2 , C_3 , ... paralel, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.1 di bawah

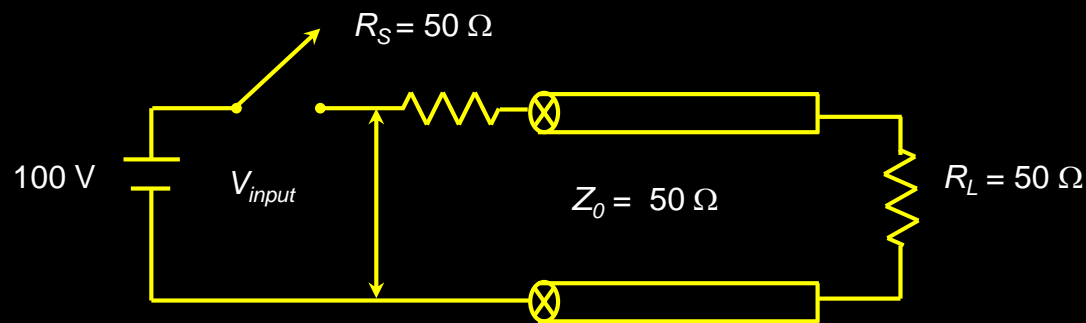


Gambar 2.1. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi

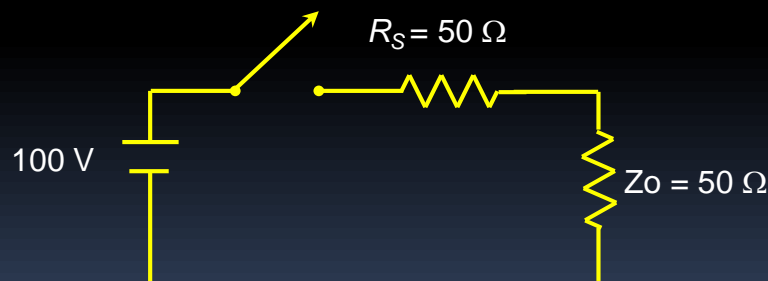
Kedua macam komponen itu terdistribusi secara merata sepanjang saluran transmisi. Arus yang mengalir di sepanjang saluran transmisi akan menimbulkan suatu medan magnet di sepanjang saluran, yang kemudian karena adanya medan magnet itu, maka akan timbul pula suatu tegangan induksi sebesar $L \cdot di/dt$. Induktansi ini juga terdistribusi merata sepanjang saluran, dengan satuan Henry per meter. Sedangkan kapasitansi yang terdistribusi merata sepanjang saluran itu dapat dibayangkan sebagai kapasitansi yang timbul karena dua konduktor pada saluran transmisi letaknya sejajar satu sama lain.

2.2 Saluran Transmisi Beban Sesuai (*Match*)

Suatu saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*loss/less*) jika pada ujung beban dipasang beban dengan impedansi R_L yang harganya sama dengan impedansi karakteristik saluran Z_o , maka gelombang dari sumber (*generator*) yang dikirimkan ke beban tidak akan dipantulkan oleh beban. Dengan kata lain, semua energi yang dikirimkan oleh sumber ke beban semuanya diserap oleh beban. $P_{input} = P_L$. Sebagai contoh saluran transmisi dengan beban sesuai (*match*) dapat dilihat pada gambar 2.2



(a)

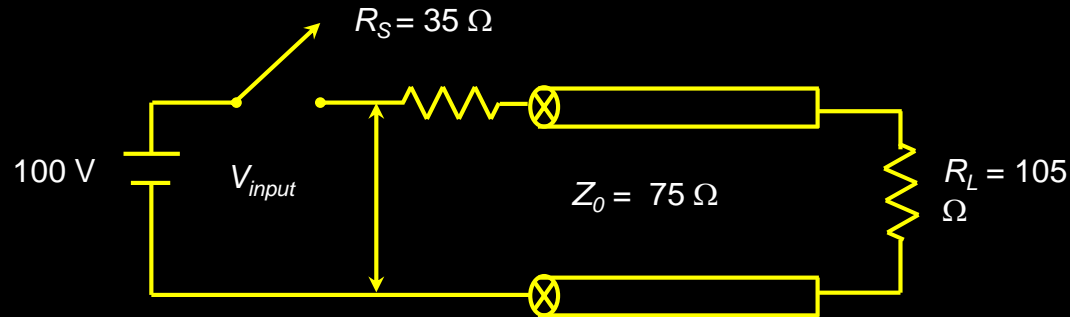


(b)

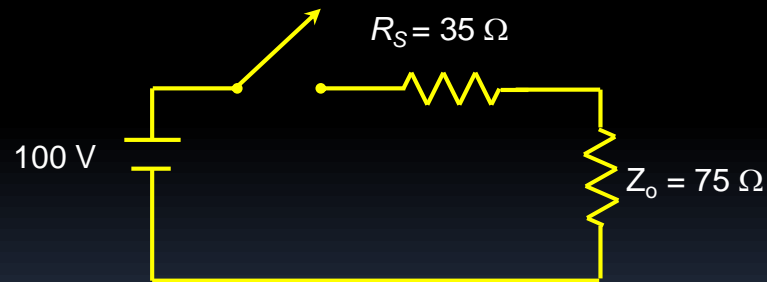
Gambar 2.2. Saluran Transmisi dengan Beban Sesuai

2.3 Saluran Transmisi Beban Tidak Sesuai (*Missmatch*)

Jika impedansi beban yang dipasang tidak sama dengan impedansi karakteristik saluran. Jawabannya sudah jelas sebagian energi akan dipantulkan oleh beban. Seperti Yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



(a)



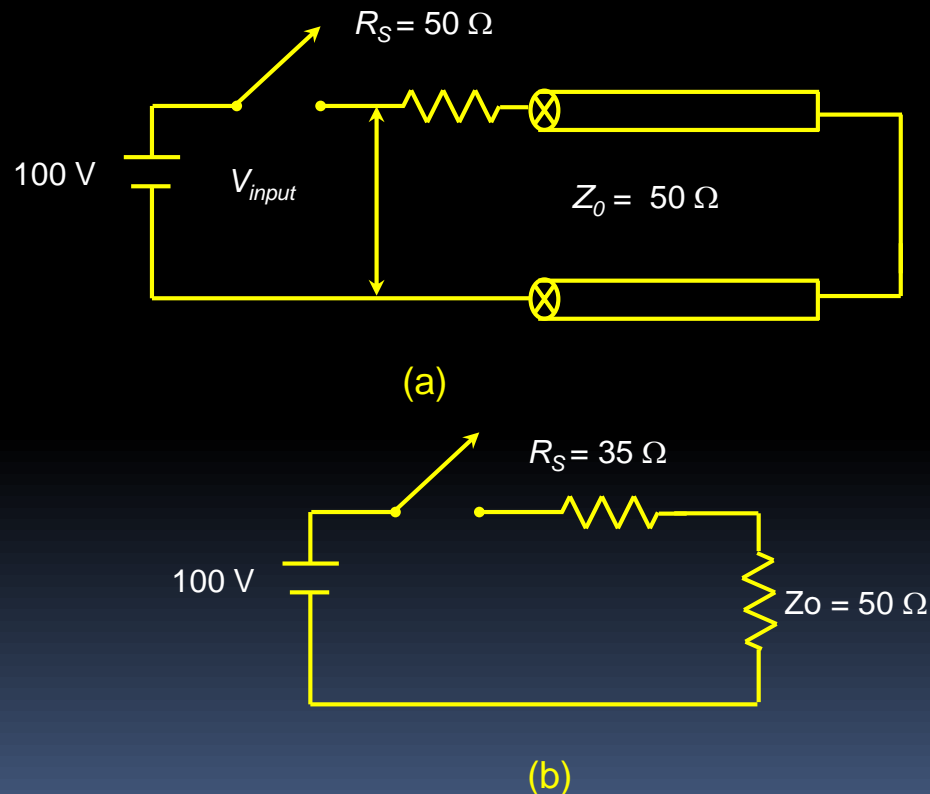
(b)

Gambar 2.3 Saluran Transmisi Beban Tak Sesuai

Contoh di atas, bila diamati maka $Z_o \neq R_L$, dapat dikatakan bahwa saluran transmisi dalam keadaan tidak sesuai (*missmatch*)

2.4 Saluran Transmisi Beban Hubung Singkat

Suatu saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*lossless*) jika pada ujung beban dihubungkan singkat (*short circuit*), artinya impedansi $R_L = 0$, maka gelombang dari sumber (*generator*) yang dikirimkan ke beban akan dipantulkan semuanya oleh beban. Atau dengan kata lain, semua energi yang dikirimkan oleh sumber ke beban semuanya tidak ada yang diserap oleh beban



Gambar 2.4 Saluran Transmisi Beban Hubung Singkat

Untuk membuktikan bahwa semua energi dikembalikan oleh beban, maka harus dibuktikan daya yang diserap beban $P_L = 0$ sebagai berikut. Tegangan di beban V_L dan arus di beban I_L adalah :

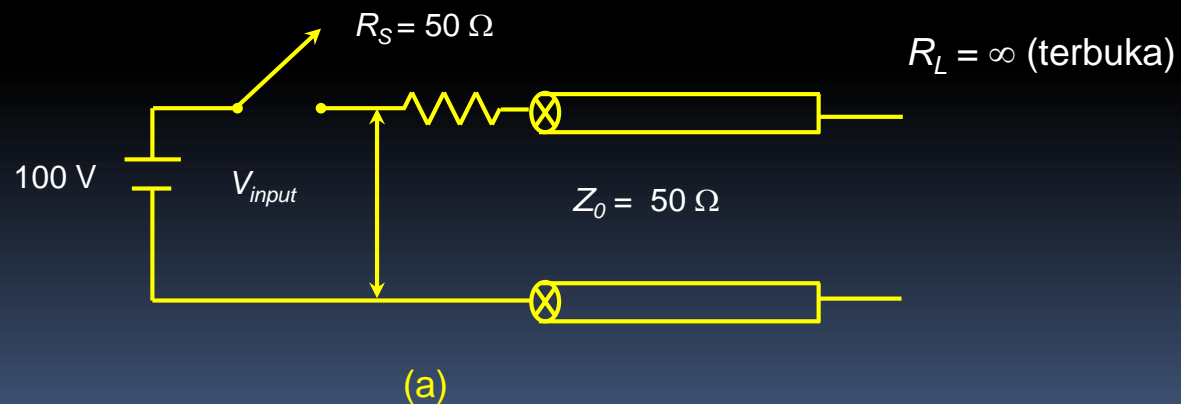
$$V_L = V^+ + V^- = 0, \text{ dan} \\ I_L = I^+ + I^- = 2A.$$

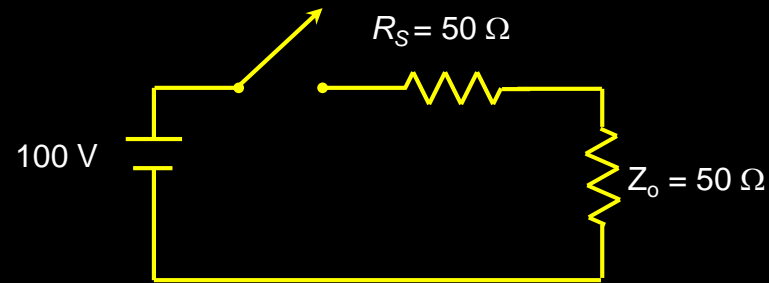
Maka daya yang diserap oleh beban P_L dapat dihitung :

$$P_L = V_L I_L = 0$$

2.5 Saluran Transmisi Beban Terbuka

Jika pada ujung suatu saluran transmisi tanpa rugi-rugi (*lossless*) dibuka (*open circuit*), artinya impedansi $R_L = \infty$, maka gelombang dari sumber (*generator*) yang dikirimkan ke beban juga akan dipantulkan semuanya oleh beban, seperti yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini,





(b)

Gambar 2.5. Saluran Transmisi Ujung Terbuka

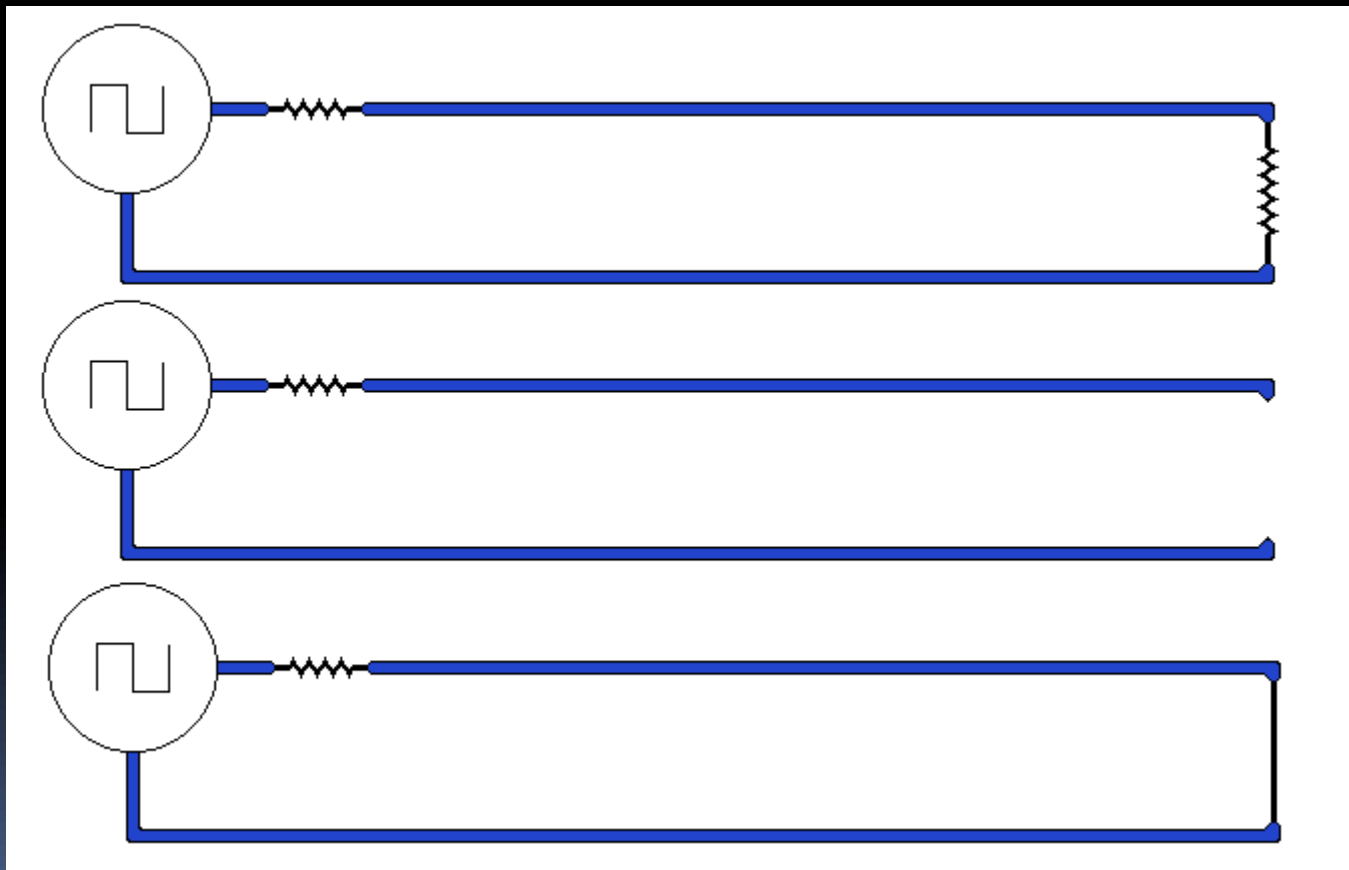
Untuk membuktikan bahwa gelombang dari generator dipantulkan semuanya oleh beban $P_L = 0$, dapat dilihat pada persamaan di bawah ini,

$$V_L = V^+ + V^- = 100 \text{ V}, \text{ dan} \\ I_L = I^+ + I^- = 0 \text{ A}.$$

Maka daya yang diserap oleh beban P_L dapat dihitung :

$$P_L = V_L I_L = 0$$

Hubungan antara beban dan sumber disimulasikan pada simulator di bawah ini



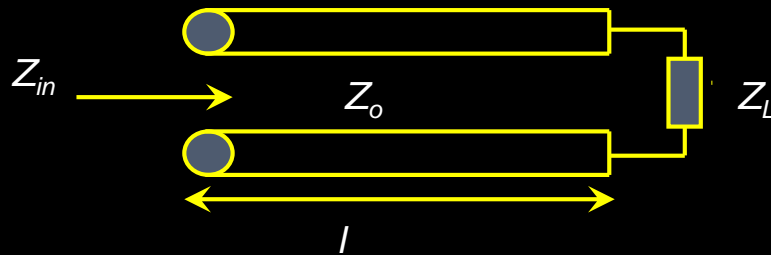
$$Z_{\text{sumber}} = Z_{\text{beban}}$$

$$Z_{\text{beban}} = \text{Terbuka}$$

$$Z_{\text{beban}} = \text{Short}$$

2.6 Impedansi Input

Suatu saluran transmisi dengan impedansi karakteristik Z_o dihubungkan dengan beban dengan impedansi Z_L seperti pada gambar 2.6, maka impedansi terukur pada jarak l dari beban mempunyai harga tertentu. Impedansi ini disebut dengan *impedansi input* saluran yang disimbulkan dengan Z_{in}



Gambar 2.6 Impedansi Input

Rumusan impedansi input dinyatakan dengan :

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_L + jZ_o \tan \beta l}{Z_o + jZ_L \tan \beta l}$$

Dimana, β merupakan konstanta propagasi ($\beta = 2\pi/\lambda$) dan panjang saluran l dinyatakan dalam panjang gelombang (λ).

Contoh Soal

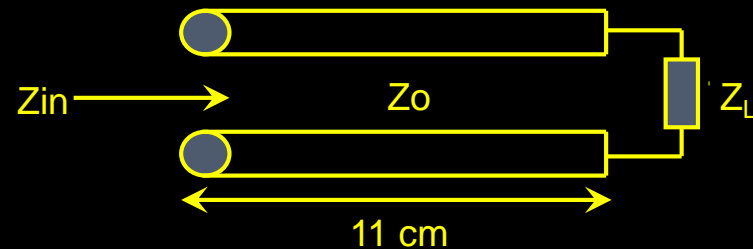
Hitunglah impedansi input dari gambar di bawah ini, bila diketahui $Z_0 = 50 \Omega$, dan frekuensi kerja = 3 GHz)

Untuk

a) $Z_L = 0$

b) $Z_L = 70 \Omega$ dan

c) $Z_L = 73 + j42$



Penyelesaian:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^9} = 10 \text{ cm} \rightarrow \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} l = \frac{2\pi}{10} 11 \text{ cm} = 2,2\pi$$

Dinyatakan bahwa

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \beta l}$$

$$\text{a). } Z_{\text{in}} = 50 \frac{0 + j \tan 2,2\pi}{50} = j36,3\Omega$$

$$\text{b). } Z_{\text{in}} = 50 \frac{70 + j50 \tan 2,2\pi}{50 + j70 \tan 2,2\pi} = (52,6 - j17)\Omega$$

$$\text{c). } Z_{\text{in}} = 50 \frac{(73 + j42) + j50 \tan 2,2\pi}{50 + j(73 + j42) \tan 2,2\pi} = (87,3 - j36,7)\Omega$$

2.7 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Bila saluran transmisi dengan beban tidak sesuai (*missmatch*), dimana $Z_o \neq R_L$, dan gelombang dibangkitkan dari sumber secara kontinyu, maka dalam saluran transmisi selain ada tegangan datang V^+ juga terjadi tegangan pantul V^- . Akibatnya, dalam saluran akan terjadi interferensi antara V^+ dan V^- yang membentuk gelombang berdiri (*standing wave*)

Suatu parameter baru yang menyatakan kualitas saluran terhadap gelombang berdiri disebut dengan *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, yang didefinisikan sebagai perbandingan (atau *ratio*) antara tegangan rms maksimum dan minimum yang terjadi pada saluran yang tidak match, sehingga dapatlah dituliskan :

$$VSWR = \frac{|V_{maks}|}{|V_{min}|}$$

Contoh Soal

Suatu gelombang dengan level puncak 100 Volt dihubungkan ke salah satu ujung dari suatu saluran transmisi. Karena beban yang terpasang pada ujung yang lain dari saluran itu ternyata tidak sesuai, maka tegangan yang diserap oleh beban hanya 80 Volt peak, sedangkan sisanya sebesar 20 Volt peak akan dipantulkan kembali ke saluran yang selanjutnya terus kembali ke generator. Gelombang berdiri (*Standing Wave*) yang terjadi didalam saluran akan memiliki harga maksimum sebesar :

$$V_{\text{maks}} = (100 \text{ Vpeak} + 20 \text{ Vpeak}) = 120 \text{ Vpeak}$$

Sedangkan harga minimumnya adalah selisih kedua tegangan tadi, yaitu sebesar :

$$V_{\text{min}} = (100 \text{ Vpeak} - 20 \text{ Vpeak}) = 80 \text{ Vpeak}$$

Dengan demikian perbandingan gelombang berdiri (VSWR) akan menjadi sebesar :

$$VSWR = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{120}{80} = 1,50$$

Contoh soal

Berapakah perbandingan gelombang berdiri (VSWR) dan koefisien pantulan, bila suatu antenna dengan impedansi sebesar 24Ω dihubungkan ke suatu saluran yang memiliki impedansi karakteristik sebesar (a) 60Ω ; (b) 150Ω .

Penyelesaian

(a) Koefisien pantulan adalah $\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{24 - 60}{24 + 60} = -\frac{3}{7}$

sehingga perbandingan gelombang berdiri akan menjadi sebesar :

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + \frac{3}{7}}{1 - \frac{3}{7}} = 2,5$$

(b) Besarnya koefisien pantulan adalah : $\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{150 - 60}{150 + 160} = \frac{3}{7}$

dan perbandingan gelombang berdiri adalah : $\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + \frac{3}{7}}{1 - \frac{3}{7}} = 2,5$

BAB 3

TIPE SALURAN TRANSMISI

3.1 Pengertian

3.2 Kabel Coaxial

3.2.1 Kabel Coaxial Baseband

3.2.2 Kabel Coaxial Breadband

3.2.3 Penyambungan Kabel Coaxial

3.3 Kabel Twisted Pair

3.3.1 Kabel Twisted Pair Tanpa Pelindung (UTP)

3.3.2 Kabel Twisted Pair Berpelapis Berpintal

3.4 Kabel Fiber Optik

3.5 Sistem Komunikasi Serat Optik

3.1 Pengertian

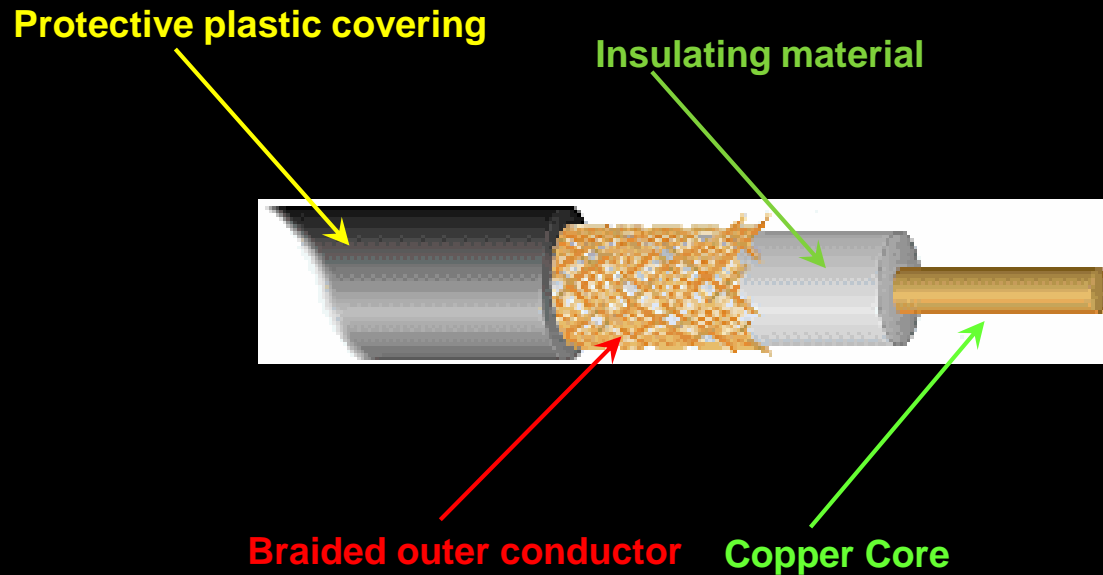
Kabel merupakan suatu media penghantar dimana umumnya data mengalir dari satu piranti rangkaian ke satu peranti rangkaian yang lain.

Pemilihan jenis-jenis kabel adalah berhubungan erat dengan topologi, protokol dan ukuran Rangkaian. Memahami kriteria-kriteria berbagai jenis kabel yang berlainan dan kaitannya dengan berbagai aspek lain di dalam rangkaian adalah perlu untuk perkembangan sistem rangkaian yang modern

Di antara jenis-jenis kabel yang digunakan di dalam rangkaian ialah seperti :

1. Kabel Berpasangan Tanpa Pelindung (Unshielded Twisted Pair - UTP)
2. Kabel Berpasangan Dengan Pelindung (Shielded Twisted Pair - STP)
3. Kabel Sepaksi (Coaxial)
4. Kabel Fiber Optik

3.2 Kabel Coaxial



Gambar 3.2. Kabel Koaksial (Coaxial)

Kabel koaksial ini mempunyai satu kawat tembaga “*copper core*” yang berfungsi sebagai media penghantar elektrik yang terletak di tengah-tengah. Satu lapisan plastik “*insulating material*” berfungsi sebagai pemisah terhadap kawat tembaga yang berada di tengah-tengah itu dengan satu lapis pintalan tembaga “*braided outer conductor*”. Pintalan tembaga ini berfungsi sebagai pelindung isyarat terhadap gangguan medan elektromagnetik dari luar.

Kebel koaskial terbagi menjadi dua

3.2.1 Kabel koaksial Baseband

Kabel jenis ini memiliki *noise immunity* yang lebih baik dibanding dengan *twisted pair*.

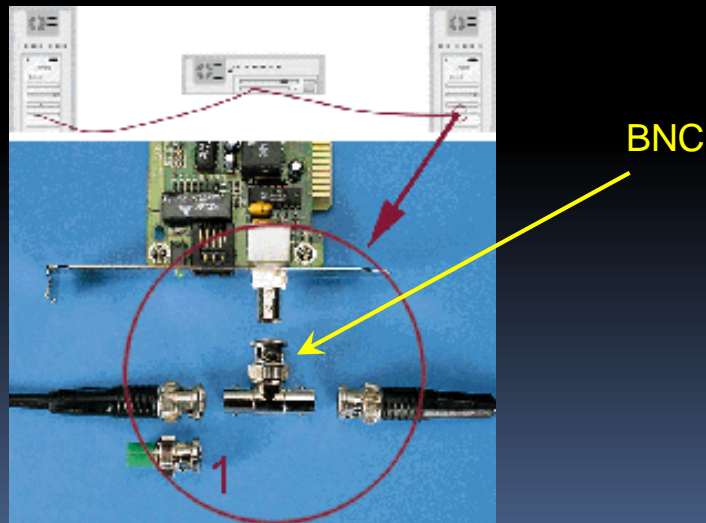
Kabel koaksial baseband terbagi lagi menjadi 2 jenis: 1) 50 Ohm untuk transmisi digital dan 2) 75 Ohm untuk transmisi analog

3.2.2Kabel koaksial Broadband

Umumnya kabel jenis ini digunakan dalam dunia telepon (bekerja dengan frekuensi lebih besar dari 4 Khz). Sedangkan kegunaanya di dunia computer yaitu berfungsi sebagai penyalur sinyal analog

3.2.3 Penyambungan kabel koaksial

Penyambung yang paling sesuai digunakan dengan kabel koaksial ialah Bayone-Neil-Councilman (BNC). Seperti yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini:

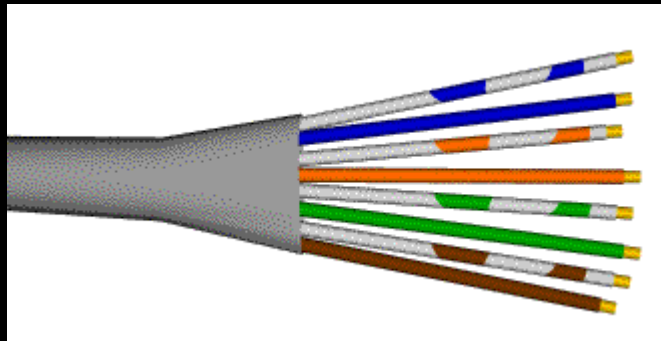


Gambar 3.2.3 Connector kabel koaksial

3.3 Kabel Twisted Pair

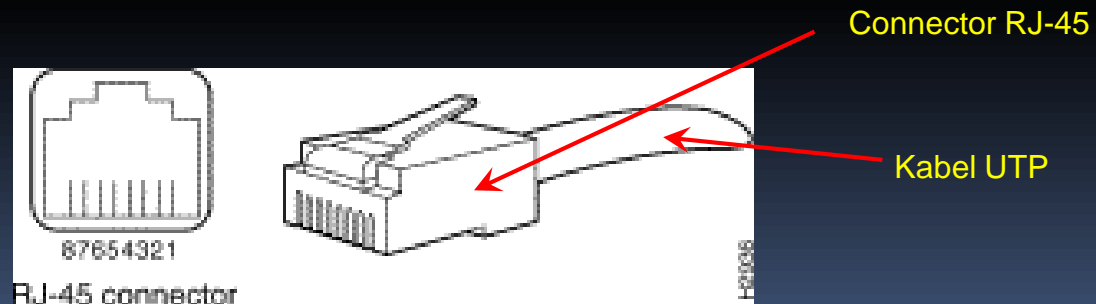
Kabel Berpasangan (Twisted Pair) hadir di dalam dua bentuk yaitu berlapis (shielded) STP dan tidak berlapis (unshielded) atau UTP (unshielded Twisted Pair)

Kabel twisted pair Yang sering digunakan untuk jaringan komputer adalah UTP dengan type CAT5/CAT5e seperti yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini,



Gambar 3.3 Kabel UTP Type CAT 5e

Connector yang bisa digunakan untuk UTP type CAT5 adalah RJ-45, seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 3.4 Connector RJ 45

Untuk penggunaan koneksi komputer, dikenal 2 buah tipe penyambungan kabel UTP ini, yaitu

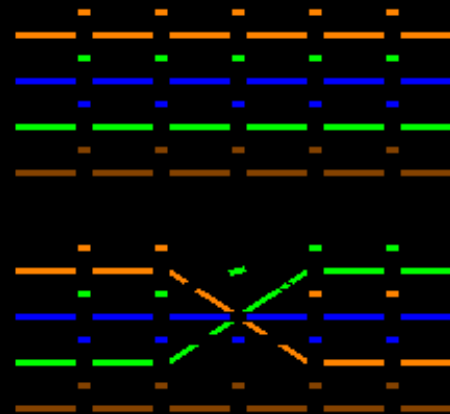
1) *straight cable* : untuk menghubungkan *client* ke hub/router

2) *crossover cable*. Untuk menghubungkan *client* ke *client* atau dalam kasus tertentu digunakan untuk menghubungkan *hub* ke *hub*.

Connector RJ-45

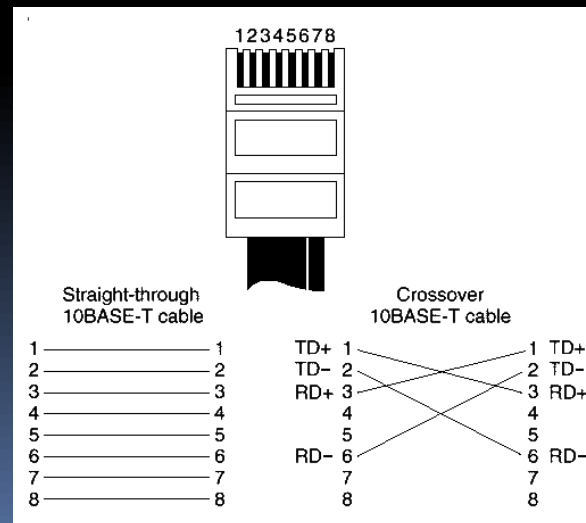


Kabel UTP



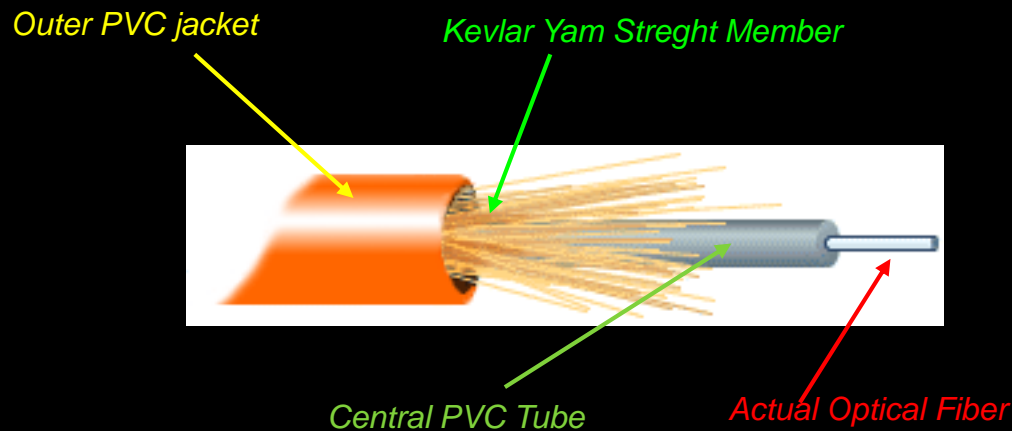
straight cable

crossover cable



3.4 Kabel Fiber Optik

Serat optik adalah salah satu media transmisi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dengan keandalan yang tinggi. Berbeda dengan media transmisi lainnya, pada serat optik gelombang pembawanya tidak merupakan gelombang elektromagnet atau listrik, akan tetapi merupakan sinar/cahaya laser. Contoh kabel serat optik diperlihatkan pada gambar di bawah ini,



Gambar 3.4 Struktur serta optik

Kabel Fiber Optik memiliki suatu inti yang dibuat daripada kaca yang terletak di tengah-tengah, yang dikelilingi oleh beberapa lapisan bahan pelindung. Ia menghantarkan cahaya dan bukannya sinyal elektronik dan mengurangi masalah gangguan gelombang frekuensi bahan elektrik

3.5 Sistem Komunikasi Serat Optik

Alasan utama pembuatan serat optik adalah penggunaannya pada sistem komunikasi agar diperoleh sistem dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi untuk pengiriman aneka informasi (suara, data, dan citra).

Keuntungan komunikasi menggunakan serat optik

- 1) Dibandingkan kabel tembaga, sebatang kabel serat optik memiliki bandwidth lebih banyak, sampai dengan 1 Terabit/detik atau 10^{12} bit/detik. (kapasitas pengiriman informasi yang sangat besar serta cepat)
- 2) Material loss yang rendah dibanding menggunakan tembaga
- 3) Tidak menghasilkan elektromagnetik noise, dan juga
- 4) Tidak dipengaruhi oleh gelombang elektromagnetik dari luar (elektromagnetik interference).
- 5) Mempunyai kapasitas pengiriman informasi yang sangat besar serta cepat.
- 6) Sulit disadap (tingkat keamanannya tinggi)
- 7) Memiliki redaman yang sangat kecil

Pada dasarnya, sistem komunikasi serat optik terdiri dari tiga bagian:

1) Pemancar (*transmitter*)

Transmitter (yang terdiri dari dioda laser dan LED) berfungsi mengubah sinyal elektronik ke dalam bentuk gelombang cahaya dan memasukkannya ke dalam serat optik

2) Saluran komunikasi

Serat optik

3) Penerima (*receiver*).

Penerima (photodetector) berfungsi mengubah sinyal cahaya kembali ke dalam bentuk elektronik. Alat-alat opto-elektronik yang dipakai dalam sistem serat optik sebagian besar terbuat daripada bahan semikonduktor, khususnya senyawa yang terbentuk dari unsur-unsur golongan III (seperti Ga) dan golongan V (seperti As).

Untuk mengefektifkan penggunaan jaringan fiber optik, ada dua teknologi yang saat ini digunakan yaitu:

1) Erbium-doped fiber amplifier (EDFA) dan

2) Wavelength division Multiplexing (WDM)

1) Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA merupakan suatu serat optik yang intinya (*core*) dikotori oleh atom erbium sehingga dapat memberikan penguatan terhadap sinyal yang melewatinya. Erbium itu sendiri merupakan elemen dari golongan lantanida (*lanthanides group*) yang mana elemen-elemennya cocok sebagai bahan aktif dalam laser *solid-state* dikarenakan struktur elektronnya. Ion-ion dari elemen-elemen ini memiliki kemampuan menyerap foton dengan panjang gelombang yang tinggi. Keberadaan foton di dalam daerah panjang gelombang emisi mengawali proses terjadinya emisi yang distimulasi (*stimulated emission*) yang menyebabkan terjadinya penguatan sinyal. Erbium dipergunakan sebagai dopant untuk penguatan sinyal pada panjang gelombang di sekitar $1,55 \mu\text{m}$ sedangkan *neodymium* (Pr^{3+}) dan *praseodymium* (Nd^{3+}) memungkinkan penguatan sinyal pada panjang gelombang di sekitar $1,3 \mu\text{m}$. Panjang gelombang yang dapat diserap maupun dipancarkan oleh suatu ion bergantung pada besarnya perbedaan energi (*energy gap*) antara tingkat dasar dan tingkat yang lebih tinggi darinya sebagaimana persamaan berikut ini:

$$E_p = E_2 - E_1 = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dimana :

E_p = energi foton (eV)

E_2, E_1 = tingkat energi (eV)

h = konstanta Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)

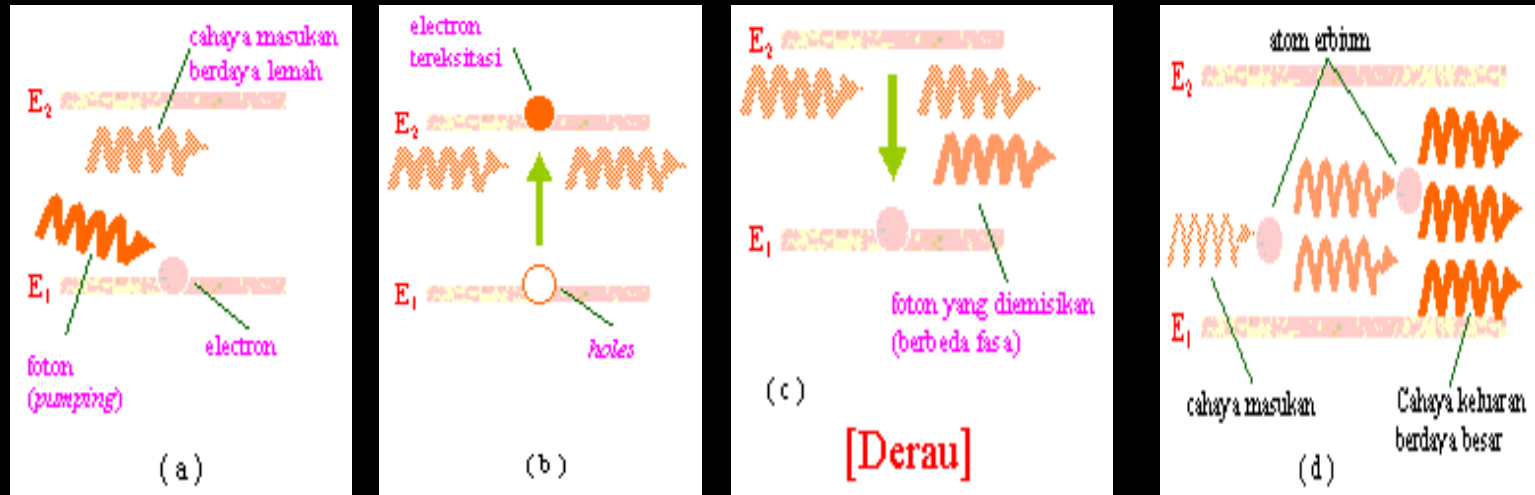
λ = Panjang gelombang emisi (m)

Prinsip dasar penguatan pada EDFA

Penguatan sinyal itu sendiri terdiri dari 3 proses

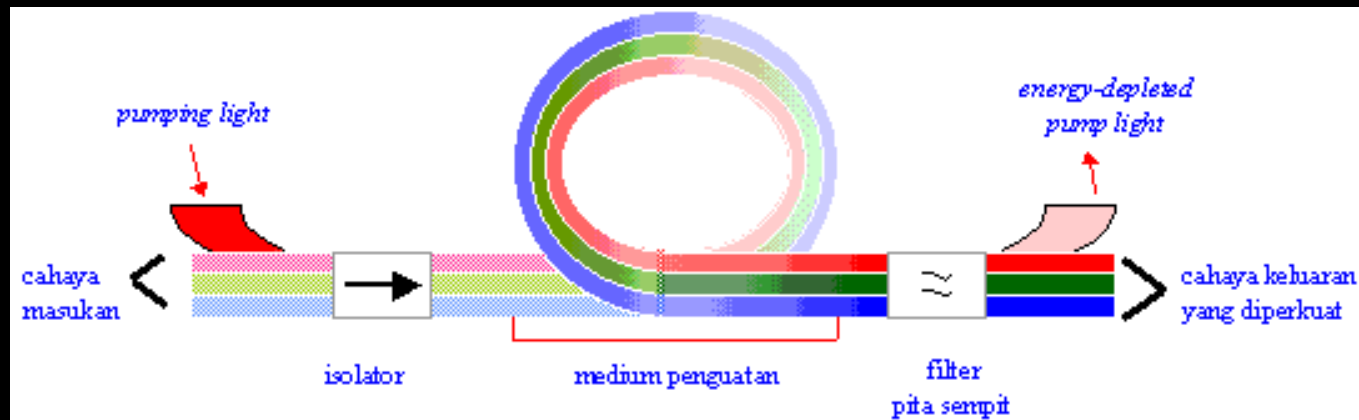
- 1) *Pumping*, yaitu proses menaikkan tingkat kestabilan elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan cara elektron tersebut menyerap foton dengan panjang gelombang tertentu yang masih memungkinkan elektron tersebut memperoleh energi yang besarnya sama atau lebih besar dari perbedaan energi antara dua tingkat tersebut/ E_p .
- 2) *Spontaneous emission* yang merupakan suatu proses dimana elektron acak (*random electron*) kembali ke tingkat asalnya tanpa 'diminta' dianggap sebagai derau optik yang juga diperkuat dalam medium penguatan dan mengganggu pendeteksian sinyal utama di penerima/*receiver*
- 3) *Stimulated emission* memancarkan cahaya pada panjang gelombang, fasa, dan arah yang sama dengan demikian proses ini akan memperkuat sinyal

Diagram proses penguatan sinyal pada EDFA diperlihatkan pada gambar di bawah ini,



Gambar 3.6 Proses penguatan sinyal pada serat optic (EDFA)

- Elektron berada di atas tingkat kestabilannya untuk beberapa saat/*delay time*
- Elektron tersebut kembali ke tingkat dasarnya oleh proses emisi spontan
- Stimulated emission* memancarkan cahaya pada panjang gelombang, fasa, dan arah yang sama dengan sinyal
- Sinyal yang diperkuat



Gambar 3.7 Modul penguatan sinyal (EDFA)

Pada prakteknya, EDFA ditempatkan dalam suatu modul yang terdiri dari komponen-komponen pendukung (Gambar 3.7) untuk memberikan kinerja terbaik kepada sistem secara keseluruhan.

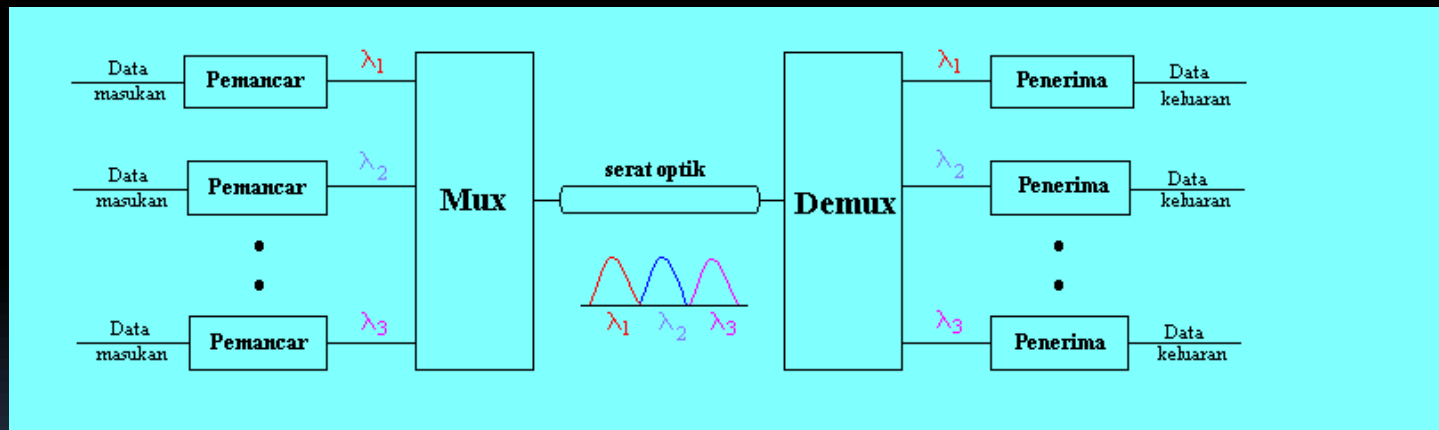
Dioda laser dengan daya besar lebih diutamakan sebagai sumber pompa dikarenakan ia memungkinkan pemompaan (*pumping*) atom-atom *erbium* untuk medium penguatan yang berjarak panjang (sampai ratusan meter). Keluaran dari sumber pompa ini kemudian digandengkan dengan sinyal.

Penggunaan isolator pada konfigurasi di atas adalah untuk menekan osilasi laser dan juga untuk mencegah feedback dari Emisi spontan yang diperkuat (ASE). Sedangkan filter optik jenis pita sempit (*narrowband*), biasanya beberapa nanometer, digunakan untuk mengeliminasi ASE sehingga memberikan kinerja sistem yang baik.

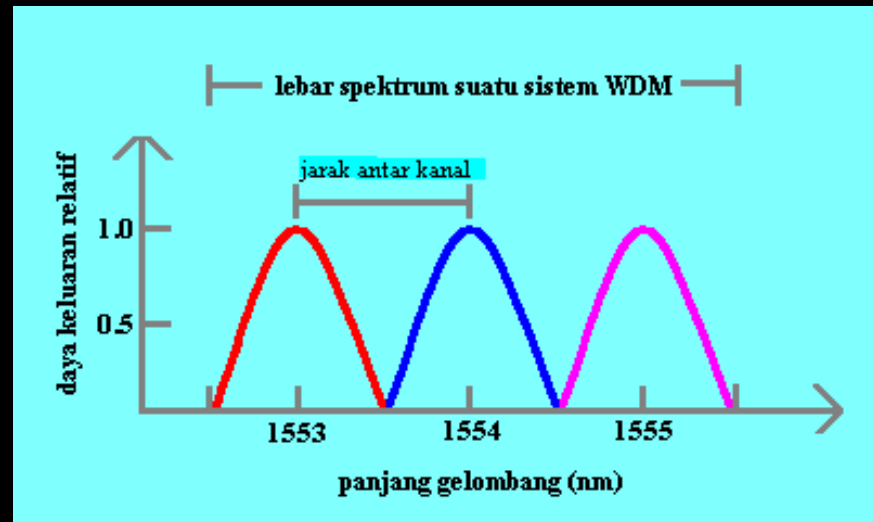
2) Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Sementara itu, penggunaan teknologi WDM menawarkan kemudahan dalam hal peningkatan kapasitas transmisi dalam suatu sistem komunikasi serat optik, khususnya kabel laut.

Hal ini dimungkinkan karena setiap sumber data memiliki sumber optiknya masing-masing, yang kemudian digandengkan ke dalam sebuah serat optik. Meski demikian, besarnya daya untuk masing-masing sumber optik mesti dibatasi karena serat optik yang dipergunakan akan mengalami ke-Nonliniearan apabila jumlah total daya dari sumber-sumber optik tersebut melebihi suatu ambang nilai, yang besarnya tergantung pada jenis kenonliniearan serat optik tersebut.



Gambar 3.8 Diagram suatu sistem WDM



Gambar 3.8 Diagram suatu sistem WDM

Gambar di atas menunjukkan pengaturan jarak antarkanal dalam suatu sistem WDM, yang besarnya lebih kurang 1 nm. Dengan demikian, di sisi penerima mesti ditempatkan suatu filter guna mencegah terjadinya cakap-silang/*crosstalk* dari kanal-kanal yang berdekatan.

Dalam suatu sistem yang mempergunakan sejumlah penguat optik, derau yang dibangkitkan di setiap penguat akan terakumulasi di dalam penguat berikutnya.

Derau yang terakumulasi tersebut membatasi kinerja sistem dalam dua cara

- 1) rasio *signal-to-noise* (SNR) akan menurun sepanjang lintasan dan
- 2) derau yang terakumulasi di setiap penguat optik dapat menyebabkan pembatasan dalam besarnya penguatan (*gain*) di penguat optik

Jaringan masa mendatang

Sampai sekarang ini, teknologi WDM dan EDFA merupakan alat yang efektif dalam meningkatkan *bandwidth* transmisi dan meminimalan penggunaan penguat (*amplifier*) di dalam rute-rute utama jaringan internasional

Penggunaan teknologi WDM dan EDFA tidak lagi terbatas pada komunikasi *point-to-point* sederhana. Misalnya saja WDM juga dipergunakan untuk merutekan trafik dari masing-masing panjang gelombang menuju tujuannya masing-masing/*landing points*, dimana hal ini akan meningkatkan fleksibilitas jaringan.

Sementara EDFA juga dipergunakan untuk mengkompensasi rugi-rugi pencabangan di dalam jaringan optik pasif/*passive optical network* (PON).

Kedua teknologi tersebut telah diimplementasikan di dalam sistem kabel laut utama di dunia, beberapa di antaranya masih dalam tahap pembangunan sampai dekade mendatang

BAB 4

SMITH CHART (PETA SMITH)

4.1 Pendahuluan

4.2 *Matching Impedance*

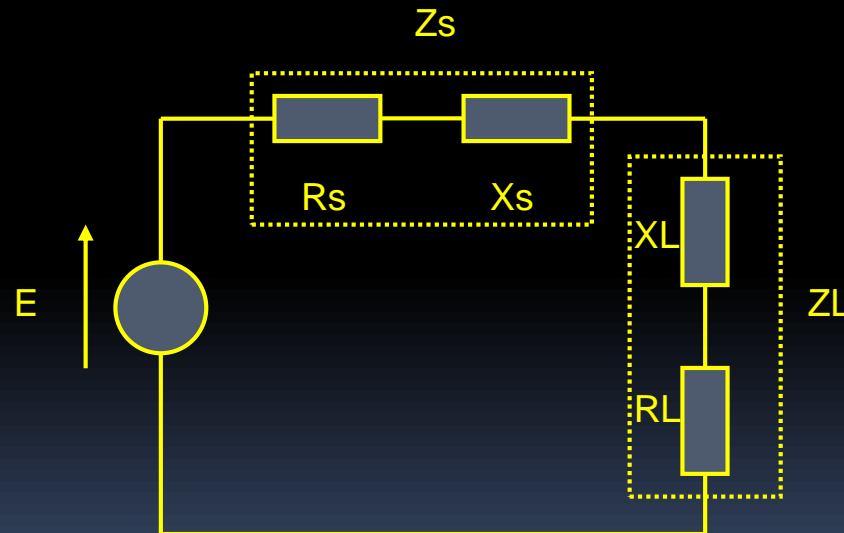
4.3 Diagram Smith

4.1 Pendahuluan

Metode Grafis lazim digunakan pada pemecahan persoalan transmisi, karena munculnya bilangan kompleks sering mengakibatkan perhitungan menjadi lama dan sulit. Dengan metode grafis diharapkan kelambanan dan kesulitan perhitungan dapat jauh dikurangi dengan ketelitian hasil yang cukup memadai, yaitu dengan menggunakan chart saluran transmisi yang paling populer adalah dengan menggunakan smith chart

4.2 Matching Impedance

Sebuah system saluran transmisi direfresentasikan oleh gambar berikut :

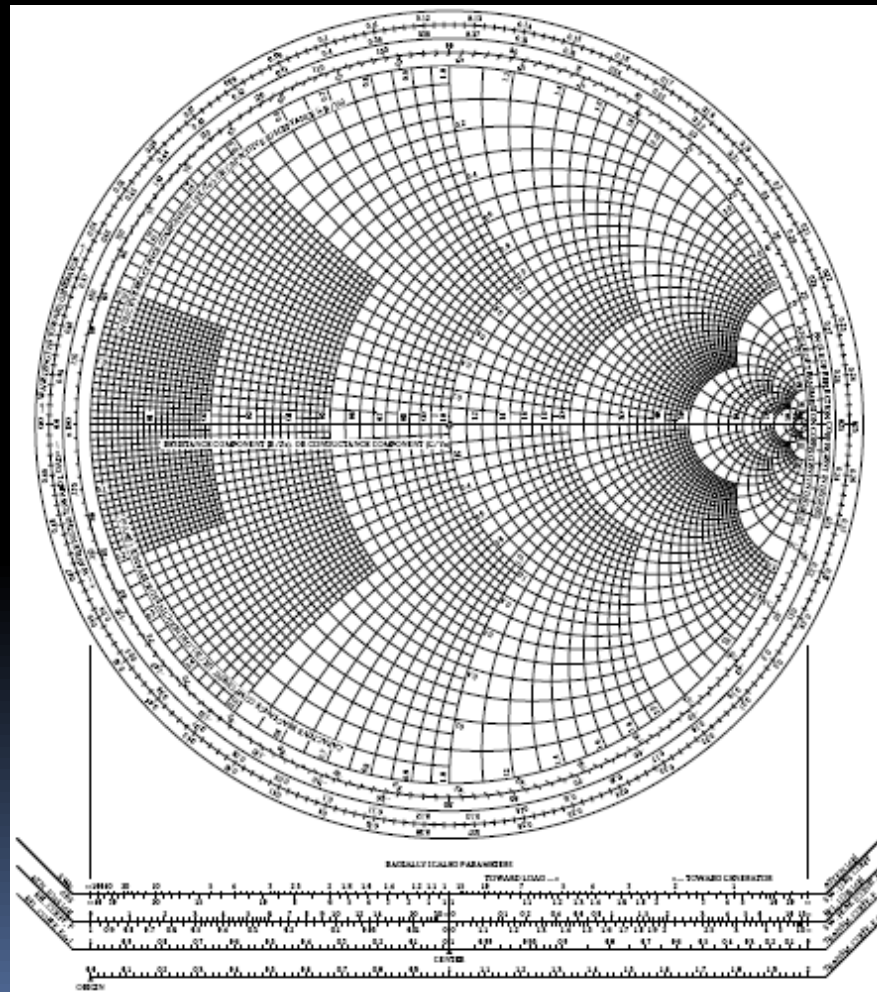


Gambar 4.1 System saluran transmisi

Syarat agar tak terjadi gelombang pantul atau gelombang tegak (*standing wave*) maka impedansi karakteristik saluran haruslah setara dengan nilai impedansi beban (adanya *matching impedance*).

$$R_s + jX_s = R_L - jX_L$$

4.3 Diagram Smith



Aturan – aturan Peta smith :

A. Aturan lingkaran

- 1) Garis mendatar yang melalui pusat (centrum) 1.0 menyatakan nilai resistansi Normalisasi (R/Z_0) atau Konduktansi Normalisasi (G/Y_0).
- 2) Separuh lingkaran diatas garis menyatakan nilai reaktansi induktif normalisasi ($+jX/Z_0$) atau suseptansi induktif normalisasi ($+jB/Y_0$). Separuh lingkaran dibawah garis menyatakan nilai reaktansi kapasitif Normalisasi ($-jX/Z_0$) atau nilai suseptansi Kapasitif normalisasi ($-jB/Z_0$).
- 3) Jika yang diketahui adalah impedans masukan saluran transmisi (Z_i) maka untuk mencari impedans beban (Z_B) harus diperhatikan lingkaran paling luar dengan skala yang ada didalam lingkaran yang pembacaannya berlawanan arah dengan jarum jam, yang diistilahkan panjang gelombang menuju beban. Sebaliknya jika yang diketahui adalah impedans beban (Z_B) maka untuk mencari impedans masukan (Z_i) diperhatikan lingkaran paling luar dengan skala paling luar, pembacaanya mengikuti arah arum jam, yang diistilahkan panjang beban menuju generator.
- 4) Lingkaran yang paling dalam menyatakan koefisien sudut pantul yang dinyatakan dalam derajat.

B. Aturan skala garis

- 1) Skala sebelah kanan menyangkut angka-angka pantulan koefisien pantul (atas), bagian bawah menyangkut nilai rugi-rugi pantulan.
- 2) Skala disebelah kiri, menyangkut masalah gelombang tegak (SWR) bagian bawah, sedangkan bagian atas menyangkut masalah rugi-rugi transmisi.
- 3) Skala derajat pada lingkaran dengan $r = 0$ pada peta smith menggambarkan nilai koefisien sudut pantul (Φ).

C. Penentuan Nilai Vswr dan Koefisien pantul

- 1) Vswr, dalam penentuan suatu swr disuatu titik dapat mengambil jarak radial antara titik Zin pada chart dengan $Z = r = 1$ (titik pusat chart) kemudian menyesuaikan jarak tersebut. Atau mengambil jarak yang sama pada $Z = r = 1$ tetapi berlawanan arah dan dari titik tersebut ditarik garis tegak lurus ke ruler VSWR dan pada titik perpotongan antara garis dan ruler adalah nilai Vswr.
- 2) Koefisien pantul (k), dalam penentuan suatu swr disuatu titik dapat mengambil jarak radial antara titik Zin pada chart dengan $Z = r = 1$ (titik pusat chart) kemudian menyelesaikan jarak tersebut. Dari titik swr tersebut ditarik garis lurus kebawah hingga memotong ruler koefisien pantul. Pertemuan titik potong tersebut merupakan nilai koefisien pantul.