

# 12

## Attenuasi dan Repeater

---

Kekuatan sinyal yang ditransmisikan oleh sembarang media transmisi menurun seiring dengan bertambahnya jarak. Dengan demikian, bila ditransmisikan lebih dari beberapa mil, sinyal tersebut harus diperkuat. Sebagian besar sistem transmisi mempunyai penguat (amplifier) pada jarak tertentu untuk mengembalikan kekuatan sinyal kembali seperti semula. Penguat untuk sinyal analog ini pada umumnya mirip dengan yang digunakan pada perangkat radio domestik atau perangkat Hifi untuk menguatkan sinyal-sinyal itu. Namun, ada rangkaian elektronik lain yang dihubungkan dengan penguat jalur transmisi yang mengkoreksi berbagai bentuk distorsi yang terjadi sewaktu transmisi. Penguat dan rangkaian tersebut dinamakan sebagai *repeater*.

Jarak antar repeater tergantung pada tingkat *attenuasi*, atau menurunnya kekuatan sinyal. Kekuatan sinyal tidak boleh turun terlalu rendah; sebab, bila ini terjadi, akan semakin sulit untuk membedakannya dengan noise (kebisingan) yang selalu ada. Bila noise bercampur dengan sinyal, penguat akan menguatkannya seperti halnya dengan sinyal.

## RANGKAIAN DUA KAWAT DAN EMPAT KAWAT

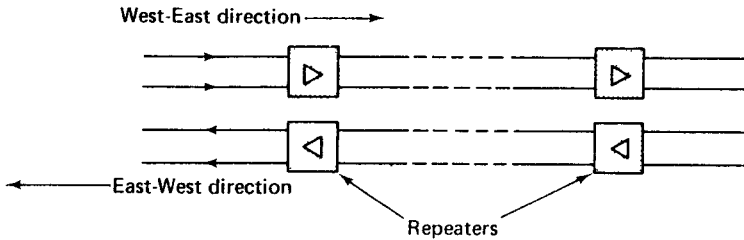
Rangkaian empat kawat (lihat Gambar 8.2) memiliki dua penguat, sebuah untuk masing-masing arah transmisi, seperti terlihat pada Gambar 12.1.

Suatu rangkaian dua kawat akan memiliki sebuah penguat yang melayani kedua arah. Ini dimungkinkan oleh adanya kumparan (koil) yang bertindak seperti transformator. (Istilah “dua kawat” dan “empat kawat” digunakan tanpa memperdulikan apakah jalur transmisi ini benar-benar terdiri atas kawat-kawat.) Gambar 12.2 menunjukkan repeater sederhana. Kemanapun arah rambatannya, sinyal ini dikuatkan, dan kemudian dimasukkan kembali ke jalurnya. Sebagian besar repeater dua kawat menggunakan dua penguat, sebuah untuk masing-masing arah sinyal.

Rangkaian empat kawat, digunakan untuk trunk jarak jauh, tidak perlu harus benar-benar memiliki empat buah kawat. Sebagian besar memang demikian, dan ini disebut sebagai *rangkaian fisik empat kawat (physical four-wire)*. Namun, dua buah konduktor dapat membentuk *rangkaian setara empat kawat (equivalent four-wire circuits)*. (Mungkin para pekerja komputer akan menyebutnya rangkaian empat kawat “semu”!) Dua arah transmisi ini menggunakan band frekuensi yang berbeda. Sinyal timur-barat dan sinyal barat-timur diubah frekuensinya dengan cara dibedakan jumlahnya dan dengan demikian dapat merambat melalui dua buah kawat fisik (sebenarnya) tanpa satu sama lain saling berinterferensi. Demikian pula, dalam transmisi data, sinyal dapat dirambatkan melalui dua kawat bila frekuensinya diubah sehingga mereka tidak saling berinterferensi. Jadi, dua arah ini dipisahkan frekuensinya, dan bukan ruangnya.

Bila perlu mengurangi jumlah channel fisiknya, maka rangkaian dua kawat atau rangkaian *setara* empat kawat dapat digunakan. Jadi rangkaian dua kawat umumnya digunakan untuk loop lokal. Namun, transmisi empat kawatlah yang umumnya digunakan bila sejumlah channel suara dipak menjadi satu dalam sepasang kawat, misalnya dalam trunk intertoll (Gambar 8.2).

Apakah rangkaiannya berupa empat kawat fisik atau pun setara, ini tergantung pada seberapa pentingkah pengurangan jumlah lintasan fisiknya. Sebagai contoh, dengan pasangan kawat terbuka, rangkaian empat kawat fisik akan berarti pengandaan jumlah kawat yang direntangkan di antara tiang-tiang telepon. Ini tidak dikehendaki, dan biasanya yang digunakan adalah rangkaian setara empat kawat yang hanya memerlukan sepasang kawat. Di lain pihak, trunk dalam antarkota berkapasitas tinggi yang membawa sejumlah besar percakapan pada satu waktu biasanya memisahkan arah transmisi secara fisik. Peralatan elektronik dirancang

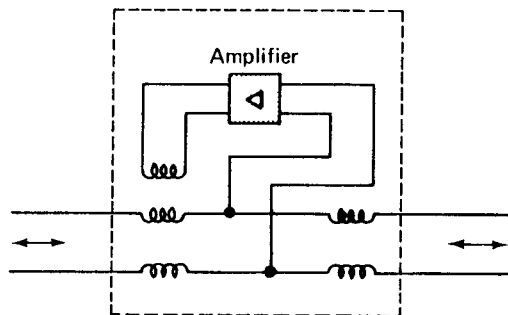


**Gambar 12.1** Rangkaian empat kawat.

untuk mengepak banyak channel, yang semuanya merambat dalam arah yang sama, menjadi sebuah kabel koaksial atau fasilitas gelombang mikro.

## **KUMPARAN PERSILANGAN/HIBRIDA (HYBRID COILS)**

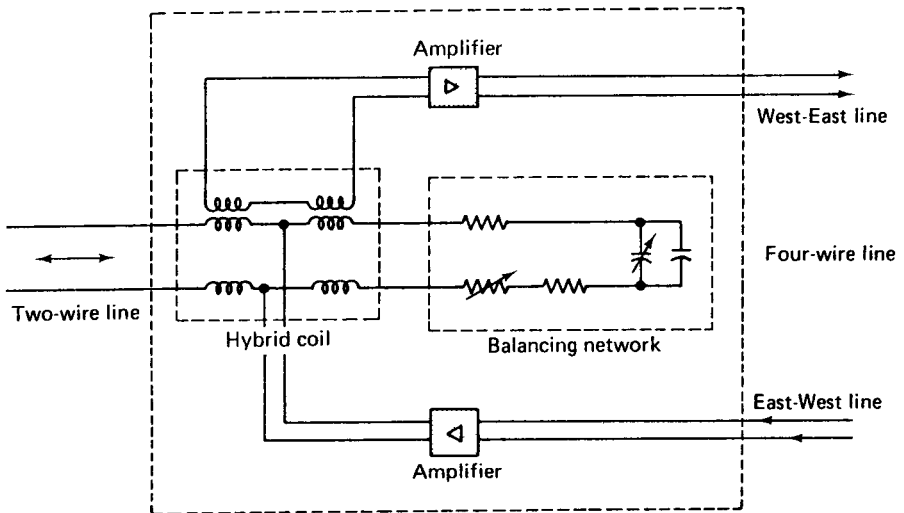
Jika jalur dua kawat dari telepon anda bergabung dengan trunk empat kawat, maka diperlukan rangkaian penghubung. Sinyal yang keluar pada dua kawat ini ditransfer ke pasangan yang tepat pada jalur empat kawat dengan menggunakan sarana ini, dan sinyal yang masuk pada pasangan lain pada jalur empat kawat ditransfer ke jalur dua kawat.



**Gambar 12.2** Diagram sederhana dari penguat pada rangkaian dua kawat (sekarang jarang digunakan).

Inti dari rangkaian gabungan ini adalah *kumparan persilangan (hybrid coils)*, nampak pada Gambar 12.3. Sinyal pada jalur dua kawat yang merambat dari barat ke timur pada diagram ini ditangkap oleh kumparan yang masuk pada penguat di bagian atas, dikuatkan dan ditransmisikan melalui bagian barat-timur pada jalur empat kawat. Sinyal yang merambat dari timur ke barat dikuatkan oleh penguat bagian bawah dan memasuki jalur dua kawat. Sinyal ini memasuki kumparan persilangan di pusatnya; sehingga, sinyal yang menginduksi bagian teratas kumparan dihalangi. Bila kumparan persilangannya sempurna dan jaringan penyeimbangnya (*balancing networknya*) secara persis menduplikasi bagian jalur yang ia hadapi, tidak akan ada sinyal yang memasuki penguat di bagian atas.

Pada jalur dua kawat, dua buah penguat lebih sering digunakan daripada penguat yang dimuat di Gambar 12.2. Dua kumparan persilangan mengambil sinyal menjadi seperti ini — sebuah untuk masing-masing arah. Pada jaringan digital, konversi dari dua kawat menjadi empat kawat berlangsung di card jalur pelanggan yang ada di kantor sentral digital. Ini dibahas lebih terinci dalam Bab 30.



**Gambar 12.3.** Rangkaian kumparan persilangan yang digunakan untuk mengubah sinyal dua kawat menjadi empat kawat, dan sebaliknya. Dua rangkaian semacam ini digunakan di jalur transmisi yang ditunjukkan pada Gambar 8.2 pada penggabungan dua kawat/empat kawat.

## **GEMA**

Sayangnya, rangkaian persilangan ini tidak sempurna. Jika suatu sinyal merambat dari timur ke barat dalam Gambar 12.3 sebagian kecil diantaranya *memang* menemukan jalannya ke penguat yang di bagian atas. Sinyal yang diinduksikan ke dua buah bagian kumparan di bagian atas tidak dihalangi sepenuhnya. Jaringan pe-nyeimbang (balancing network) yang nampak pada Gambar 12.3 dipilih untuk meminimalisasikan dampak yang tidak menguntungkan ini. Namun, karakteristik jalur ini agak berubah-ubah menurut temperatur sekitarnya, dan berbagai pilihan telepon dihubungkan ke jaringan itu. Rangkaian ini tidak dapat di balans secara sempurna untuk semua kondisi ini.

Jika sebagian kecil sinyal timur ke barat masuk ke penguat atasnya, maka sinyal itu dikuatkan dan merambat balik dari barat ke timur. Maka terjadilah *gema* (*echo*) pada jalur itu. Komponen rangkaian lain dapat pula menyebabkan gema. Sebenarnya, bilamana jalur transmisi mempunyai perubahan impedansi tajam sebagian, kecil sinyal dipantulkan dan merambat balik melalui saluran yang sama.

Gema mempunyai beragam dampak psikologis terhadap seseorang yang melakukan percakapan telepon. Dampak ini seringkali tidak menyusahkan, tetapi kadangkala malah mengganggu. Gema yang datang 0,005 detik setelah suara si pembicara tidak perlu ditolak. Ini agak terdengar seperti berbicara di kamar mandi. (Orang malah mungkin terdorong untuk menyanyi.) Gema yang datang setelah beberapa persepuluh detik setelah si pembicara akan berdampak serius. Percobaan membuktikan bahwa gema itu menyebabkan orang mengulang kata. (Banyak orang yang berbicara secara terputus-putus) beberapa malah terhenti sama sekali.

## **PENEKAN GEMA (ECHO SUPPRESSOR)**

Pada sebagian besar sistem telepon, perlu dipertimbangkan bahwa gema dengan selang waktu lebih dari 0,045 detik tidak dapat ditoleransi. Jika gema sampai ke telinga si pembicara setelah periode ini atau lebih lama, maka digunakan *penekan gema* (*echo suppressor*) untuk mengurangnya sampai ke tingkat dapat diabaikan. Banyak rangkaian dengan selang waktu lebih kecil menggunakan penekan gema pula. Penekan gema adalah rangkaian yang mengurangi pembalikan transmisi dengan cara menyisipkan sejumlah besar loss ke lintasan pembalikan.

Penekan gema diaktifkan oleh rangkaian yang mendeteksi suara manusia. *Detektor pembicaraan* pada channel timur-barat mengoperasikan penekan gema dari

channel barat-timur dan gema ini diturunkan selama pembicaraan timur-barat. Detektor pembicaraan juga diperlukan pada arah rambatan yang berlawanan. Bila A berbicara dengan B dan B ingin berbicara, B tidak dapat didengar, kecuali mungkin sangat keras, sampai A berhenti berbicara. Pada percakapan cepat antara A dan B yang saling menginterupsi, mereka bisa jadi mendengar penekan gema menghidupkan suara lainnya, kadangkala ditengah kalimat. Biasanya ini tidak begitu mengganggu percakapan.

Pada pemasangan telepon masa kini hanya saluran jarak jauh saja yang memerlukan penekan. Pada kabel pasangan yang dimuati, sinyal merambat sepanjang jalur dengan kecepatan 20 mil per milidetik (lihat Gambar 11.7). Ini akan sangat beragam, tergantung pada karakteristik jalur dan kumparan pemuatannya, tetapi secara kasar suatu sinyal akan harus merambat kira-kira 500 mil dan kembali sebelum cepat rambatnya mencapai 0,045 detik. Bila menggunakan kabel koaksial atau radio gelombang mikro, atau bila berpasang-pasang kawat membawa frekuensi lebih tinggi yang digunakan saat mereka mentransmisikan sejumlah channel bersama-sama, maka cepat rambatnya akan mendekati kecepatan cahaya. Melalui media semacam inilah sinyal dapat merambat sampai hampir 4000 mil dan kembali sebelum penundaan 0,045 detik timbul; namun, ada penyebab penundaan lainnya dimana banyak sinyal bersama-sama merambat melalui sebuah saluran. Umumnya sinyal itu tidak semua menuju ke satu tujuan dan oleh karenanya harus dipisahkan untuk keperluan pembagian. Seperti yang dijabarkan pada bab di depan, ini mencakup hal menurunkan sinyal itu ke frekuensi suara untuk melakukan operasi pembagian dan menyatakannya kembali. Ini menyebabkan terjadinya sedikit penundaan; maka total penundaan akan tergantung pada jumlah "terminal" yang ada pada jalur ini. Akibatnya, kita dapat menemukan penekan gema ini di semua rangkaian telepon bumi yang berjarak 1500 mil dan seringkali pada jalur yang lebih pendek. Lintasan alternatif yang lebih panjang digunakan untuk membypass suatu kelompok trunk yang sedang sibuk, dan seringkali hubungan yang hanya sependek 300 mil mempunyai penekan gema. Perlu diperhatikan agar tidak terjadi bahwa lebih dari sebuah penekan gema dipasang ke suatu koneksi karena akan menyebabkan degradasi pada transmisi pembicaraan.

Satelit komunikasi berada pada ketinggian 22.300 mil dari bumi dan, dengan demikian, perambatan penundaan dari dan ke satelit adalah kira-kira 0,25 detik (kecepatan sinyal dari dan ke satelit adalah 186 mil per detik). Jadi, bila satelit ini digunakan, maka penekan gema harus digunakan.

Penekan gema yang dirancang untuk suara tidak dapat digunakan bila yang ditransmisikan adalah *data*. Bila ada maka alat ini harus dilumpuhkan. Ada dua sebab utama untuk itu. Pertama, detektor pembicaraan dirancang *hanya* untuk mendeteksi suara. Alat ini harus tidak peka (kedap) terhadap kebisingan (*noise*), siulan dan bunyi-bunyi ekstra lainnya, atau operasi yang salah akan membuat malapetaka pada percakapan. Data digital tidak perlu mengoperasikannya dengan memuaskan. Kedua, untuk mendeteksi percakapan, rangkaian itu harus mendengarkan selama beberapa saat sebelum beroperasi. Pada jalur dua kawat, suku kata pertama pada suatu urutan dapat diklip karena penekan gema yang mengadakannya adalah lambat dalam membalikkan arah sinyal itu. Ini akan tidak memuaskan dengan sinyal data, dan dengan demikian penekan gema harus diberi waktu untuk membalikkan arah operasinya.

Agar penggunaan yang paling efisien dari saluran full-duplex untuk transmisi data ini dapat tercapai, maka diperlukan pentransmisi dalam dua arah pada waktu yang sama. Sinyal data mungkin mengalir dalam sebuah arah, sedangkan sinyal kontrol dan permintaan retransmisi kesalahan mengalir ke arah yang berlawanan. Atau, pada suatu saluran yang memiliki banyak mesin data, data mungkin mengalir dari salah satu mesin ke komputer yang pada saat bersamaan sedang menjawab mesin lainnya. Namun, ini tidak masalah bagi suatu jalur yang memiliki penekan gema. Penekan gema, kecuali bila dilumpuhkan, mencegah transmisi dua arah yang serentak berlangsung melalui jaringan umum.

## **PELUMPUH PENEKAN GEMA (ECHO SUPPRESSOR DISABLERS)**

Agar dapat mengirimkan data dengan cara full dupleks melalui saluran tingkat-suara terdial, penekanan gema harus dilumpuhkan. Ini biasanya dilakukan oleh modem yang tipenya dicantumkan pada Gambar 10.6.

Pelumpuh penekan-gema biasa mengharuskan agar nada frekuensi tunggal pada Band 2000-2250 Hz ditransmisikan dari salah satu atau pun kedua buah ujung saluran. Nada ini harus berakhir setelah kira-kira 400 milidetik, dan harus tidak ada atau hanya sedikit energi pada sembarang frekuensi lain. Penekan gema selanjutnya akan tetap tidak bekerja sampai tidak ada sinyal ditransmisikan dari salah satu ujung saluran selama kira-kira 50 milidetik. Mesin data harus didesain dengan cara sedemikian rupa sehingga mesin itu tidak membiar-

kan jalurnya sunyi selama 50 mili detik, atau penekan gemanya harus dilumpuhkan lagi.

Pelumpuhan nada dapat *didengar* pada telepon sebagai siulan panjang bernada tinggi. Dengan demikian ini digunakan sebagai tanda pada orang yang sedang mendial bahwa hubungan ke komputer di tempat yang jauh sedang dibuat. Nada ini disebut sebagai nada data. Siulan ini akan melumpuhkan setiap penekan gema.

Kemudian, apa yang terjadi pada gema itu, jika penekan gemanya dilumpuhkan? Gema itu masih ada. Gema redam mencapai pesawat penerima sebagai noise (kebisingan) yang tidak diinginkan. Sebagaimana terlihat pada bab-bab berikutnya, ini, bersama-sama dengan noise lainnya, membatasi kecepatan maksimum yang dapat kita transmisikan. Ingatlah bahwa pesawat penerimalah yang sekarang kita khawatirkan, bukan pesawat penytransmisinya, mengingat bahwa dalam pembicaraan telepon si *pencakaplah* yang terganggu oleh gema itu. Pada umumnya gema ini tidak cukup kuat untuk menyebabkan kesalahan substansial dalam penginterpretasian sinyal data ketika data ditransmisikan pada tingkat 1200 atau 2400 bps melalui saluran suara. Namun bila kecepatannya ditambah, maka diperlukan sarana transmisi yang lebih canggih (Bab 13), karena semua noise menjadi semakin jelas.

## KONSTANTA PENURUNAN (ATTENUASI)

Penurunan kekuatan suatu kabel biasanya disebutkan dalam istilah konstanta attenuasi yang dihubungkan dengan penurunan kekuatan sinyal.

Perhatikan sepotong kabel berjarak  $\Delta l$  seperti nampak pada Gambar 12.4. Voltase yang memasuki potongan ini adalah  $V$  dan yang meninggalkan potongan itu adalah  $V - \Delta V$ . Maka hilangnya voltase adalah :

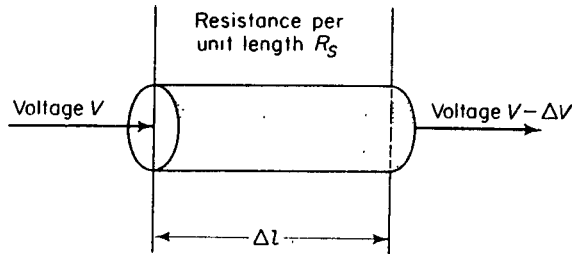
$$-\Delta V = IR_s \Delta l$$

dimana  $I$  adalah arus yang mengalir melalui potongan itu, dan  $R_s$  adalah resistansi, per satuan panjang. Namun,  $I = V/R$ , dimana  $R$  adalah resistansi relatif dengan bumi yang voltasenya adalah nol.

$$\therefore \frac{\Delta V}{V} = -\frac{R_s}{R} \Delta l$$

Dengan pelimitan:



**Gambar 12.4**

$$\frac{1}{V} dV = -\frac{R_s}{R} dl$$

Pengintegralannya adalah,

$$\begin{aligned} \log_e V &= -\frac{R_s}{R} l \\ \therefore V &= e^{-(R_s/R)l} \end{aligned}$$

Dengan demikian, rasio voltase antara dua jarak  $l_1$  dan  $l_2$  adalah,

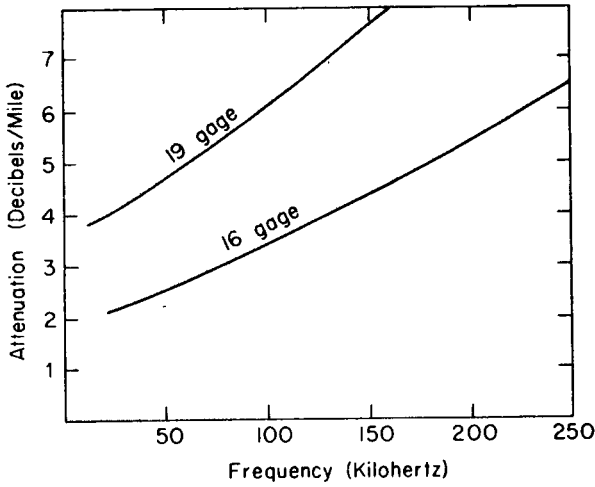
$$\frac{V_1}{V_2} = e^{-R_s R (l_1 - l_2)}$$

Secara umum, maka,

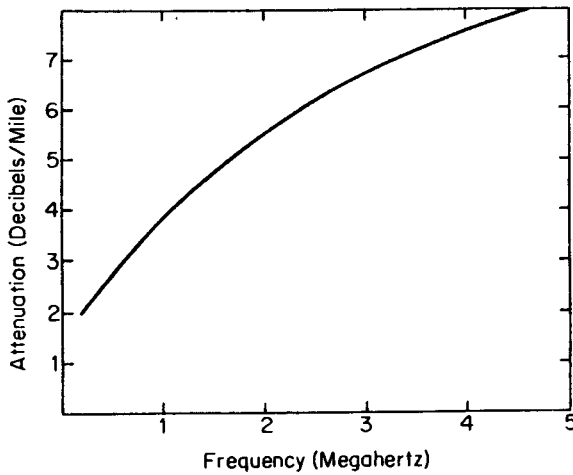
$$\frac{V_1}{V_2} = e^{-\alpha(l_1 - l_2)}$$

dimana  $\alpha$  adalah konstanta khusus untuk jalur itu dan disebut konstanta attenuasi (penurunan). Untuk arus bolak-balik, seseorang harus memperhatikan kapasitansi dan induktansi jalurnya, dan pengungkapan untuk  $\alpha$  menjadi sangat kompleks.

Konstanta penurunan ini biasanya dinyatakan dalam desibel per mil. Beberapa contoh nilai konstanta attenuasi dimuat dalam tabel 12.1. Gambar 12.5 sampai dengan Gambar 12.7 menunjukkan betapa attenuasi berbeda-beda menurut frekuensi

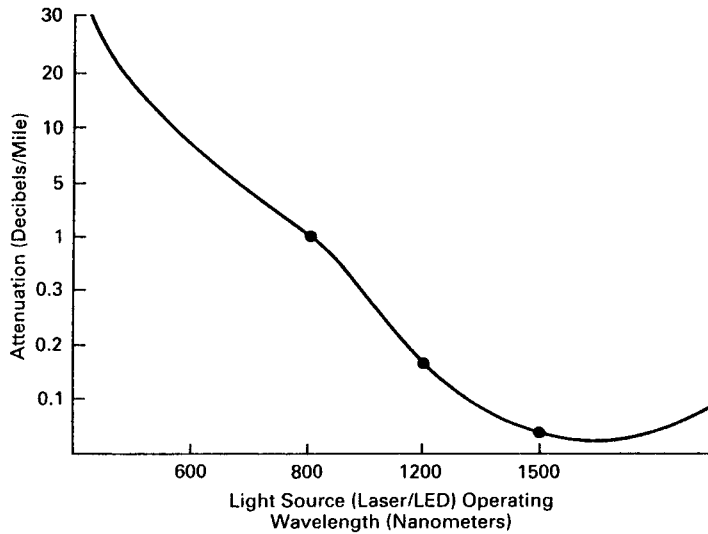


**Gambar 12.5** Contoh Attenuasi pada kabel sepasang kawat yang berlilitan (twisted-wire-pair cable).



**Gambar 12.6** Penurunan (Attenuasi pada kabel koaksial) (diameter luar 3/8 inci).

pada sepasang kawat, kabel koaksial, dan rangkaian serat optik. Karakteristik ini menentukan bandwidth (lebar Bandwidth) dan, tentu saja, kapasitas sambungannya.



**Gambar 12.7** Attenuasi di berbagai sistem serat optik yang beroperasi pada panjang gelombang 800, 1200 dan 1500 nanometer.

**Tabel 12.1.** Pengurangan biasa yang konstan

Media Transmisi	Frekuensi	Koefisien Attenuasi Khas (desibel/mil)
Beberapa pasangan kabel pada kutub	1000 Hz	0.1
Kabel yang dijalin dalam kabel		
16 ukuran standar kawat	48 kHz	2
16 ukuran standar kawat	140 kHz	3.5
22 ukuran standar kawat	48 kHz	6
22 ukuran standar kawat	140 kHz	8
Kabel koaksial, 3/8 inchi o.d	300 kHz	2
	2000 kHz	6
	8000 kHz	10
Kabel komputer seberang Atlantik	160 kHz	1.4
Serat optik	800 nm	4
	1500 nm	0.2

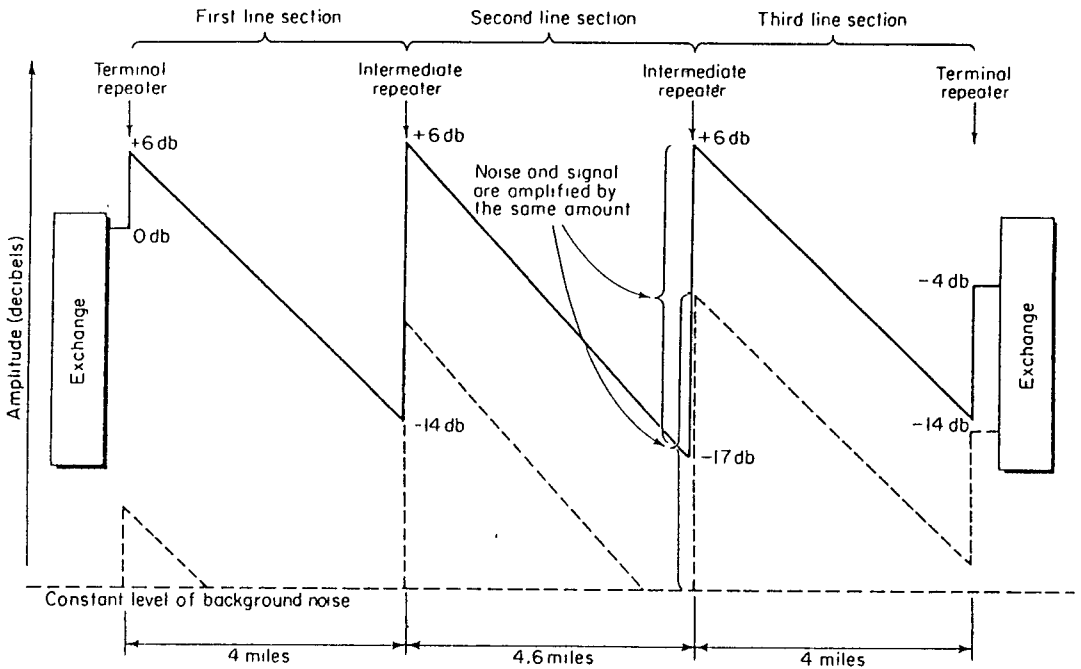
## LOKASI REPEATER

Repeater ditempatkan pada interval yang cukup rapat untuk menjaga agar sinyal tidak diturunkan sampai dengan tingkat yang relatif terlalu kecil untuk sumber noise. Bagi transmisi suara biasanya perlu dijaga pada rasio keseluruhan sinyal pada noise sejumlah 30 dB atau lebih baik.

Pada banyak rangkaian yang berkualitas baik, ketika sinyal telah merambat sampai jarak yang sedemikian rupa sehingga kekuatannya telah turun sebanyak akar kuadrat dari seratus (dengan kata lain, 20 dB), sinyal itu dinaikkan kembali ke nilai aslinya. Jadi pada sistem kabel koaksial dengan koefisien attenuasi rata-rata sebesar 5dB per mil, repeaternya akan dipasang setiap 4 mil. Sebaliknya, pada pasangan kawat terbuka yang attenuasi rata-ratanya, katakanlah, 0,4 dB per mil, repeaternya akan ditempatkan pada jarak sekitar 50 mil.

Semakin tinggi frekuensi ditransmisikan melalui sepasang kawat atau kabel koaksial, semakin besar pula attenuasinya. Untuk membuat suatu pasangan kawat atau tabung koaksial membawa lebih banyak informasi diperlukan bandwidth dan, tentu saja, frekuensi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan semakin banyak repeater untuk mencegah tingkat penurunan yang sama. Selama bertahun-tahun repeater telah semakin handal dan murah. Pengaturan jarak antar repeater telah menurun, sehingga memungkinkan digunakannya frekuensi yang lebih tinggi dan kapasitas pengiriman informasi kabel telah meningkat.

Gambar 12.8 mengilustrasikan penggunaan repeater pada kabel sepanjang 12,6 mil dengan konstanta attenuasi (penurunan) 5 dB per mil. Bila tidak ada repeater pada jalur ini, penurunan total dalam amplitudo sinyal akan mencapai 63 dB. Penurunan ini terlalu besar karena level sinyal akan jatuh di bawah tingkat noise ikutannya (background noisenya). Bila sinyalnya dikuatkan, *noisenya juga ditingkatkan*, seperti nampak pada garis putus-putus pada Gambar 12.8. Bila sinyal turun terlalu rendah, maka rasio kekuatan sinyal terhadap noise ikutan (background noise) menjadi rendah dan tidak pernah berkembang karena dua hal ini tidak dapat dipisahkan. Pada bagian garis kedua Gambar 12.8, pengaturan jarak repeaternya agak lebih besar daripada bagian pertama. Ini memungkinkan sinyal untuk jatuh agak lebih rapat dengan tingkat noise ikutan (background noise). Pengaturan jarak-sinyal dengan noise yang lebih rapat ini tetap ada sampai sinyalnya mencapai pertukaran. Ini terlihat pada Gambar 12.8 bahwa bila repeaternya telah bersama-sama lebih rapat, rasio sinyal dengan noise akan tetap berada di tingkat yang lebih baik. Sebuah interval repeater yang lebih besar



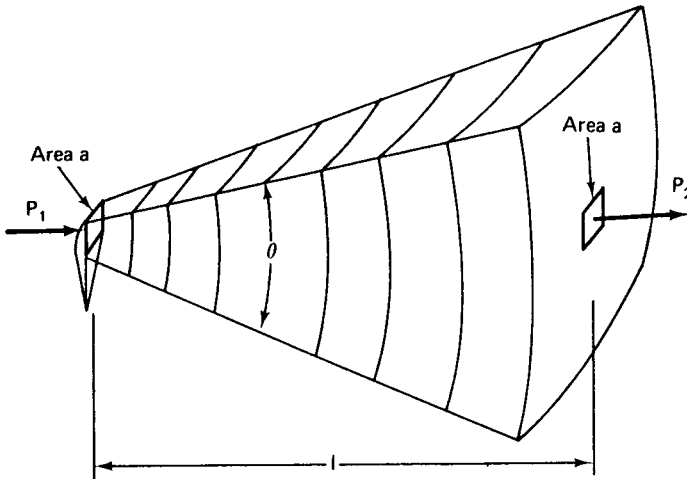
**Gambar 12.8** Attenuasi dan penguatan pada sebuah saluran dengan koefisien sebesar 5 dB per mil.

daripada yang lain menyebabkan lebih dari sekedar pembagian yang adil pada degradasi sinyal; maka, disarankan agar membuat repeater pada jarak yang sama.

## ATTENUASI (PENURUNAN) PADA TRANSMISI RADIO

Suatu sinyal yang ditransmisikan oleh radio tidak menurun secara eksponensial seperti pada saluran transmisi. Malahan sinyal ini mematuhi hukum kuadrat inversi (terbalik), yaitu, kekuatannya berbanding terbalik dengan kuadrat jarak penransmisian.

Misalkan siatu antena gelombang mikro bertransmisi dengan kekuatan  $P_1$ , dan antena pada jarak  $l$  menerima sinyalnya, sinyal yang diterima ini berkekuatan  $P_2$ .



**Gambar 12.9** Kalkulasi attenuasi gelombang mikro.

Misalkan antenna transmisi dirancang sedemikian rupa sehingga memancarkan suatu pancaran yang penampang lintangnya berbentuk persegi dan bersudut pancar tetap  $\theta$  sebesar  $\theta$  radian. (Gambar 12.9) Pada jarak  $l$ , penampang lintang wilayah pancarannya adalah  $(\theta l)^2$ . Wilayah antenanya adalah  $a$ . Satu-satunya  $a/(\theta l)^2$  dari kekuatan yang dipancarkan diterima sebesar :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{a}{(\theta l)^2}$$

Akan terlihat bahwa, untuk antenna dengan celah pentransmision persegi, sudut  $\theta$  diberikan kira-kira oleh relasi berikut persamaan:

$$\theta = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} \tag{12.1}$$

dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang yang ditransmisikan. Dengan demikian terjadilah persamaan

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{a}{\lambda l} \right)^2 \tag{12.2}$$

Maka, perbandingan amplitudonya adalah persamaan

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{a}{\lambda l} \quad (12.3)$$

dimana  $A_1$  adalah amplitudo pentransmision dan  $A_2$  adalah amplitudo yang diterima.  $\lambda$  berbanding terbalik dengan frekuensi gelombang  $f$ :

$$\lambda f = C$$

$C$  adalah kecepatan cahaya. Selanjutnya kita dapat menulis persamaan (12.3) sebagai

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{af}{lC} \quad (12.4)$$

## **PENGATURAN SPASI SAMBUNGAN GELOMBANG MIKRO**

Mari kita mensubstitusikan angka-angka ke persamaan (12.4) untuk suatu sistem contoh. Band frekuensi yang umumnya digunakan adalah 59256425 MHz. Titik tengahnya adalah  $f$  6.175 MHz. Kecepatan cahaya adalah 186.000 mil per detik. Antena khusus untuk transmisi semacam ini akan mempunyai celah sebesar 8 x 8 kaki. Dengan demikian, substitusi perbandingan attenuasinya adalah

$$\frac{\left(\frac{8}{5280}\right)^2 \times 6.175 \times 10^9}{1.86 \times 10^5} = 0.0762$$

Jadi, bila antena gelombang mikro ditempatkan sejauh 30 mil, maka

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{30} \times 0.0762 = 0.00254$$

yang mana merupakan suatu loss (kehilangan) sebanyak 52 dB.

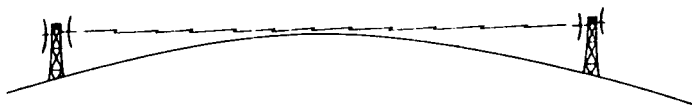
Akan terlihat bahwa kekuatan sinyal tidak turun secara eksponensial seperti pada sistem kawat. Penurunan (attenuasi) sejumlah ini jauh lebih lambat. Sistem sebelumnya mempunyai angka attenuasi 32 dB setelah 3 mil, 52 dB setelah 30 mil, 72 dB setelah 300 mil dan seterusnya. Bandingkan hal ini dengan sistem

kabel yang attenuasinya 16dB setelah 3 mil. Sistem ini akan mengalami attenuasi 160 dB setelah 30 mil, 1600 dB setelah 300 mil dan seterusnya. Jadi, kebutuhan mengenai penguat dalam sistem gelombang mikro adalah jauh lebih kecil, tetapi masing-masing membutuhkan antena dan tower besar untuk mendukungnya.

Persamaan (12.4) memperlihatkan bahwa  $A_2/A_1$  dapat diperbesar dengan cara meningkatkan frekuensi,  $f$ -nya. Oleh sebab itu, praktis frekuensi tertinggi yang digunakan dalam saluran gelombang mikro. Namun di atas kira-kira 10 GHz (10.000 MHz), dampak hujan dan salju terhadap penurunan sinyal menjadi semakin meningkat dan menjadi penghalang yang serius. Demikian pula, pembiasan pancaran oleh lapisan suhu dan kelembaban yang berbeda-beda menjadi gawat dan dapat menyebabkan fading sinyal yang temponya lama. Oleh sebab itu, sistem gelombang mikro beroperasi di antara frekuensi 3000 sampai dengan 12.000 MHz.

$A_2/A_1$  juga dapat diperkecil dengan cara meningkatkan ukuran lubang antena,  $a$ -nya. Ada juga suatu batas untuk tatanan ini dengan cara mengekonomiskan sistemnya; namun bila oleh sebab tertentu antena gelombang mikronya *harus* terpisah jauh, ukuran antenanya dapat diperbesar. Ini kadangkala karena masalah adanya gunung, atau jalurnya melewati bentangan air yang luas. Komunikasi melalui satelit menggunakan frekuensi gelombang mikro, dan di sini antena bumi (ground antena)nya sangatlah besar dan dirancang secara khusus.

Seperti terlihat pada persamaan (12.1), penambahan frekuensi atau pembesaran antena transmisi mempersempit sudut pancar yang ditransmisikan, dan inilah sebabnya mengapa dua faktor tersebut efektif dalam mengurangi sinyal yang hilang. Bila pancarannya terlalu sempit, maka akan semakin mahal pula untuk membangun antena yang akan menjaga pancaran itu agar tetap berada pada sasarannya sejauh 30 mil atau lebih. Ini khususnya dilakukan sedemikian rupa sehingga antena parabola gelombang mikro ditempatkan di puncak ketinggian



**Gambar 12.10** Lengkungan bumi membuat batas terhadap peruangan gelombang pengulang mikro. Kalau mereka lebih dari 30 mil jauhnya dan tidak pada perbukitan, menara yang sangat besar dan mahal diperlukan. Juga, pemudaran menjadi masalah yang serius di atas 30 mil.



menara yang menjadi sasaran badai berkecepatan tinggi. Pada contoh umum yang sudah kita nyatakan, sudut pancaran adalah kira-kira  $1^\circ$ .

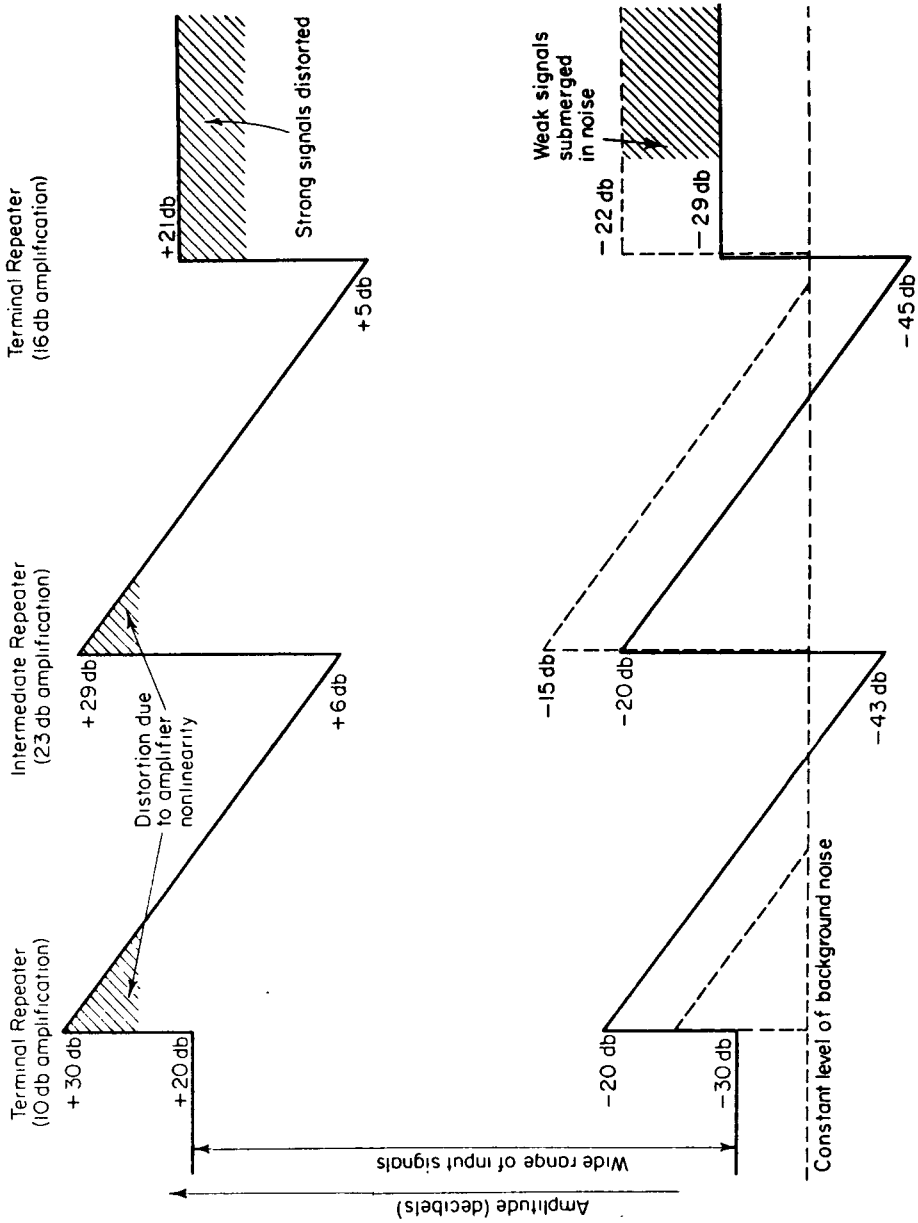
Tetapi, keterbatasan utama pemisahan stasiun-stasiun relay gelombang mikro seringkali adalah kelengkungan bumi. (Gambar 12.10). Stasiun relay ini umumnya harus dibangun dalam garis pandang satu sama lain. Antena gelombang mikro, meskipun beraud di puncak menara setinggi beberapa ratus kaki, seringkali tidak dapat lebih jauh daripada 30 mil. Kadangkala antena yang lebih besar ditempatkan di puncak gunung agar jarak transmisinya menjadi lebih jauh.

Pada jarak lebih dari 30 mil, efek *Fading* dinilai menjadi semakin parah. Efek ini, ditambah dengan lainnya, telah memaksa ke arah pembangunan sistem gelombang mikro yang tower-towernya berada dalam jarak 30 mil. Bila sistem ini beroperasi pada frekuensi lebih tinggi — berkisar antar 10 - 18 GHz — maka efek fading (penenggelaman sinyal) semakin jelas. Hujan menyebabkan efek fading semakin menggila, dan ini mengesampingkan konsiderasi pengaturan jarak-menara lain dan tower harus lebih dirapatkan jaraknya. Sebagian besar sistem gelombang mikro yang sekarang beroperasi melalui saluran jarak jauh di AS menggunakan frekuensi kira-kira 6 GHz.

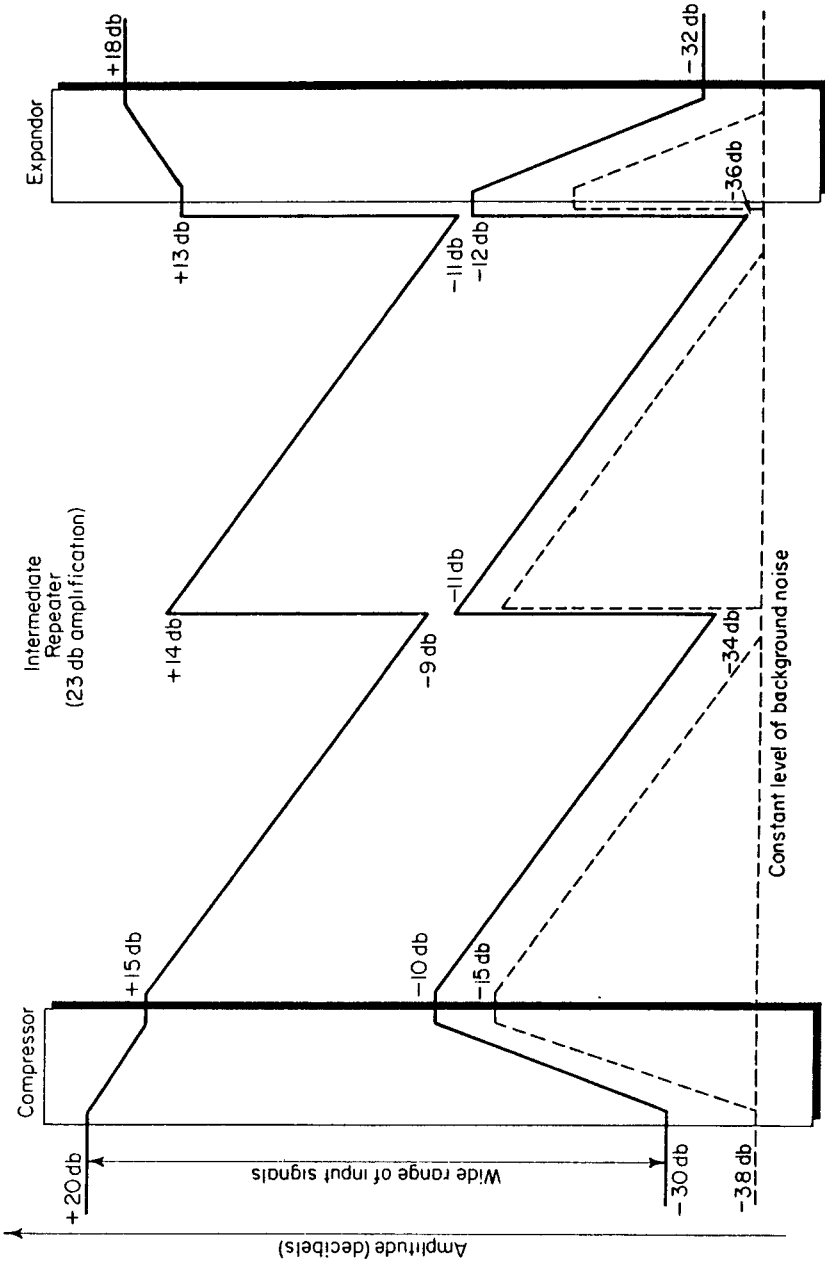
## COMPANDOR

Salah satu masalah dalam perancangan penguat dan repeater adalah bahwa sinyal yang harus dikuatkan sangatlah beragam kekuatannya. Kadangkala orang yang menelepon mungkin harus berteriak. Orang lain barangkali cukup berbicara dengan lembut dan dengan jarak yang cukup jauh dari corong telepon. Setelah melewati rangkaian panjang penguat, kedua-dua sinyal ini harus muncul dalam volume wajar, dan bebas bising.

Problem ini dapat dipahami dengan melihat Gambar 12.8. Gambar tersebut mengilustrasikan perjalanan sinyal dengan amplitudo khusus. Setelah ditransmisikan, sinyal ini tetap kira-kira 10 dB di atas tingkat noise yang dikuatkan bersama dengan sinyal itu sendiri. Beberapa sinyal akan lebih kuat sehingga lebih baik mati daripada ada, tetapi beberapa diantaranya yang lebih lemah. Misalkan ada sinyal lemah yang 15 dB di bawah sinyal yang digambarkan itu. Pada saat mencapai repeater pada diagram itu sinyal dinya mungkin hanya sama dengan tingkat noise atau bahkan lebih lemah. Noise ini akan dikuatkan dengan sinyal aslinya, dan sinyal yang lemah akan ditenggelamkan menjadi noise.



Gambar 12.11 Transmisi sinyal berjangkauan amplitudo luas tanpa komparator.



Gambar 12.12 Transmisi dengan jangkauan sinyal yang sama, dengan sebuah komparator.

Untuk mengatasi masalah ini, maka perlulah kiranya agar sinyal yang sangat kuat dan sangat lemah itu dicocokkan amplitudonya sehingga sinyal-sinyal tersebut dapat bersama-sama lebih rapat. Sehingga repeaternya dapat lebih efektif dalam menjaga sinyalnya agar tetap berada di atas tingkat noise. Ini dilakukan dengan menggunakan sebuah sarana yang disebut *compandor*. Kompandor ini meringkaskan jangkauan amplitudo sinyal sebelum transmisi dan selanjutnya, setelah transmisi, memulihkan kembali ke tingkat yang semula. Jadi ada dua buah rangkaian compandor, yaitu *kompresor (peringkas)* pada ujung transmisi dan *ekspandor (perentang)* pada ujung penerima.

Bisa jadi ada perbedaan sebanyak 50 dB antara input suara keras dengan input suara lemah. Pada rangkaian tersebut di atas tingkat perbedaan ini “diringkas” sedemikian rupa sehingga berkurang menjadi sekitar 25 dB. Kompresor mengangkat tingkat sinyal lemah sehingga ketika ditransmisikan sinyal itu tidak tenggelam di bawah tingkat noise, dan kompresor ini menurunkan tingkat sinyal kuat sehingga tidak terlalu membebani penguat. Transmisi pembicaraan di dalam jangkauan volume terbatas ini memberikan hasil yang jauh lebih jelas daripada bila jangkauannya lebih lebar.

Gambar 12.11 mengilustrasikan sinyal transmisi yang jangkauan amplitudonya luas. Sinyal tersebut ditransmisikan melalui suatu saluran yang mempunyai repeater menengah. Gambar 12.11 memperlihatkan transmisi tanpa menggunakan komandor. Sinyal terlemah anjlok di bawah tingkat noise termal. Setelah penguatansinyal ini masih muncul di bawah noise. Di lain pihak, Sinyal yang lebih kuat terlalu membebani penguat yang tidak memiliki respon linier melalui jangkauan sebesar itu. Saat komandor digunakan pada sinyal itu (Gambar 12.12), mereka tidak anjlok di bawah tingkat noise atau terlalu membebani penguat. Ekspandor menurunkan amplitudo noise; sehingga channelnya lebih tenang daripada ketika tidak seorang pun berbicara.

Tentu saja komandor tidak mempertinggi perbandingan (rasio) sinyal-ke-noise untuk sinyal yang kekuatannya tetap. Kejelasan yang meningkat merupakan hasil dari berbagai variasi amplitudo suara manusia. Sinyal data ditransmisikan pada tingkat siap, dan sehingga, tidak akan dikembangkan oleh komandor. Sebenarnya sinyal itu akan merambat agak lebih buruk pada channel yang diberi komandor daripada merambat melalui channel yang tidak diberi komandor karena channel berkomandor dapat direkayasa untuk rasio sinyal-ke-noise yang lebih kecil, karena mengetahui bahwa komandor akan membuatnya dapat diterima untuk pembicaraan.