

# 9

## Sinyal DC

---

Ada dua cara pengiriman sinyal melalui saluran komunikasi. Mungkin sinyal tersebut dikirimkan sebagaimana adanya, tanpa modifikasi, atau mungkin dilapiskan ke bentuk gelombang yang lebih tinggi yang “membawa” sinyal tersebut. Bab ini terutama berkaitan dengan bentuk pengiriman pertama, yang di dalamnya arus pada jalur itu berisi komponen yang relatif berfrekuensi rendah.

### **SIGNALING BASEBAND (BASEBAND SIGNALING)**

Transmisi sinyal pada frekuensi aslinya disebut pensinyalan baseband “(baseband signaling)” untuk membedakannya dengan transmisi frekuensi common carrier yang dibahas pada bab-bab berikutnya. Sambungan pelanggan (lihat Gambar 8.2) membawa sinyal baseband (baseband signaling). Saluran yang lebih panjang misalnya jalur antarsentral tidak membawa sinyal baseband. Jalur ini menggunakan frekuensi yang lebih tinggi untuk membawa banyak sinyal secara bersamaan. Kawat-kawat yang dibuat secara pribadi dalam suatu kantor atau pabrik dapat juga membawa sinyal-sinyal baseband. Pada bab ini kita membahas sinyal DC yang dibawa dengan cara baseband.

Karena pulsa-pulsa berbentuk gelombang persegi merambat sepanjang saluran komunikasi, pulsa ini didistorsi oleh saluran. Pulsa yang diterima di kedua ujung tidak lagi berbentuk persegi dan, bila jalurnya terlalu panjang, sinyalnya

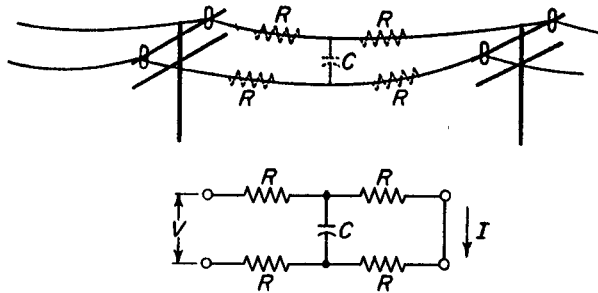
terlalu lemah, atau, bila sinyalnya terlalu cepat, sinyal yang diterima akan tidak dapat dikenali dan ditafsirkan secara salah oleh si mesin di ujung lain. Faktor-faktor yang mempengaruhi distorsi di dalam pensinyalan DC ini masih juga berpengaruh pada pensinyalan AC yang akan kita bahas kemudian.

Faktor-faktor yang paling berpengaruh pada distorsi ini adalah *kapasitansi*, *induktansi* dan *kebocoran* yang dikaitkan dengan jalur yang digunakan untuk transmisi. Ada pula faktor lain seumpama impuls-impuls kebisingan (noise) yang menginterferensi pensinyalan, tetapi ini akan dibahas pada bab-bab kemudian. Ada satu keuntungan untuk mengirimkan sinyal dalam bentuk DC (arus searah), yaitu — sederhana dan murah. Bila sinyal dari mesin pemrosesan data diubah menjadi bentuk AC yang “membawa” sinyal itu dengan frekuensi yang lebih tinggi, maka ini memerlukan suatu sarana yang disebut modem di setiap ujung saluran untuk mengubah sinyal menjadi berbentuk AC dan mengubahnya kembali menjadi DC setelah petransmisi.

Sinyal DC dapat dikirimkan melalui sepasang kawat sepanjang beberapa mil dengan kecepatan sampai dengan 300 bps tanpa kuatir didistorsi. Kecepatannya dapat ditambah sebanyak-banyaknya dengan menggunakan kabel koaksial, bukannya sepasang kawat, atau dengan membuat repeater regeneratif setiap beberapa ribu mil bila menggunakan sepasang kawat. Karena saat ini sebagian besar saluran telekomunikasi memerlukan modem, tidaklah mustahil bila pasangan kawat, yang menghubungkan semua lokasi dengan telepon, dapat digunakan pada suatu wilayah terbatas untuk pensinyalan DC seperti halnya pada jaman keemasan telegraf dahulu. Pertukaran yang biayanya rendah untuk sinyal-sinyal data yang digunakan dengan cara ini telah dikembangkan. Sinyal DC baseband tidak dapat dikirimkan melalui jalur-jalur dengan penguat.

## KAPASITANSI JALUR

Pertama-tama mari kita membahas kapasitansi saluran. Ini adalah penyebab utama distorsi. Kalau kita menaikkan voltase pada salah satu ujung saluran, ada suatu penundaan sebelum voltase di ujung lain naik dengan jumlah yang setara. Cara kerja kabel ini agak mirip dengan aliran air. Karena “kapasitansya”, sewaktu salah satu ujung dialiri listrik, maka diperlukan suatu jumlah tertentu agar hasilnya dapat dideteksi di ujung lain. Kita anggap bahwa sebagian kecil jalur itu diwakili oleh Resistor,  $R$ , dan kapasitas listrik,  $C$ , pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1.

Sebagaimana yang ditunjukkan pada buku kelistrikan dasar, ketika batere dengan voltase  $V$  dihubungkan ke suatu kapasitor  $C$  dan resistor  $R$ , maka arus sebesar  $I$  mengalir sampai kondensatornya terisi penuh. Berawal dengan nilai yang tinggi, berangsur-angsur ( $I = V/R$ ), dan turun sampai mendekati nol saat kapasitor terisi penuh.

Persamaan untuk arus pada suatu waktu,  $t$ , setelah voltasenya masuk adalah

$$I = \frac{V}{R} e^{-t/RC}$$

Demikian pula, arus  $I$  yang diterima pada Gambar 9.1 adalah

$$I = \frac{V}{R} (1 - e^{-t/RC})$$

Bila voltase pada ujung pengirim tiba-tiba sekarang diganti dengan suatu rangkaian pendek, arus pada ujung penerima tidak seketika berhenti tetapi berangsur-angsur mati karena pengosongan kapasitansinya. Persamaan untuk penurunan arus itu adalah

$$I = \frac{V}{R} e^{-t/RC}$$

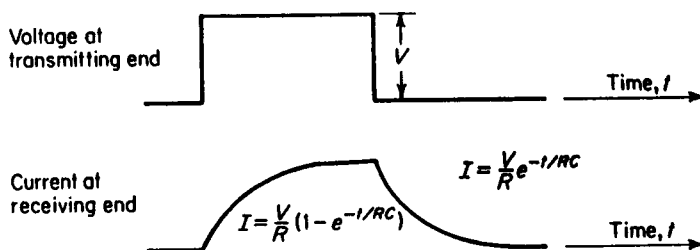
## Konstanta Waktu

Pengaliran dan penghentian arus ini ditunjukkan pada Gambar 9.2. Pulsa berbentuk persegi yang ditransmisikan dari ujung pengirim tidak lagi seperti itu setelah diterima oleh ujung lain.

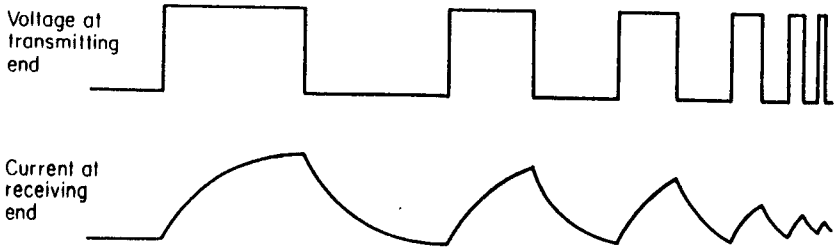
Konstanta  $RC$  pada persamaan yang disebut di atas dianggap sebagai konstanta waktu dari rangkaian itu dan merupakan ukuran waktu yang diperlukan arus untuk mengalir sampai  $1 - 1/e = 0,6321$  dari nilai akhirnya atau berkurang sampai  $1/e = 0,3679$  dari nilai asalnya. Dengan demikian, waktu pengaliran dan penghentian pada tingkat-tingkat ini sebanding dengan resistansi dan kapasitansi saluran itu.

Bila saluran transmisi terdiri atas pasangan kawat telanjang yang bergantung dari tiang-tiang telegraf, kapasitansinya adalah diantara dua konduktor yang dipisahkan oleh udara selebar beberapa inci ini. Seperti halnya pada kapasitor listrik biasa, kapasitansi adalah lebih besar bila ukuran konduktornya lebih besar dan juga bila jarak antarkonduktornya lebih kecil. Bila kawatnya berupa kabel, seperti yang saat ini umum terjadi, kapasitansinya akan jauh lebih besar sebab kawatnya lebih rapat dan bahan isolatornya memiliki konstanta dielektrik lebih besar daripada udara. Ketika kabel bawah laut untuk pertama kalinya dibangun, kabel ini memiliki penampilan yang jauh lebih buruk daripada yang diperkirakan karena adanya air laut menambah kapasitansi efektif kabelnya.

Gambar 9.2 sangatlah sederhana. Namun, ini bermanfaat untuk menggambarkan bahwa bila pulsa yang mewakili data ini terlalu pendek durasinya atau bila terlalu banyak pulsa dikirim per detiknya, maka pada saat diterima pulsa tersebut menjadi tidak dapat dibedakan, seperti yang digambarkan pada Gambar 9.3.



**Gambar 9.2** Distorsi pada pulsa DC karena kapasitansi saluran.



**Gambar 9.3** Efek kapasitansi pada saluran komunikasi. Semakin cepat angka pulsanya, semakin sulit pula untuk menafsirkan sinyal yang diterima.

Pada prakteknya akan ada resistansi di sepanjang ujung penerima, misalnya resistansi relay atau elektromagnet dari peralatan penerima. Ujung transmisi juga memiliki suatu resistansi. Keduanya mempertinggi konstanta waktunya.

### INDUKTANSI SALURAN

Selain kapasitansi dan induktansi, ada juga induktansi yang dihubungkan dengan saluran, meskipun pada umumnya tidak begitu penting bila dibandingkan dengan kapasitansi.

Induktansi dalam suatu rangkaian menahan pengaliran arus secara mendadak. Arus adalah rangkaian induktif yang menimbulkan bidang magnet. Kumparan kawat dalam suatu rangkaian adalah suatu induktansi; induktansi ini jauh lebih kuat bila kumparannya mengelilingi bahan magnetis. Induktansi besar yang membentuk bagian rangkaian elektronik disusun dengan cara melilitkan kawat yang bagus sebanyak ribuan lilitan pada batang magnet yang kuat, yang dilapisi dan berdaya magnet tinggi.

Bila sebuah batere dengan voltase  $V$  diaplikasikan pada suatu rangkaian dengan resistansi  $R$  dan induktansi  $L$  maka arus bertambah sebagaimana pada persamaan berikut :

$$I = \frac{V}{R} (1 - e^{-(R/L)t})$$

Bila baterenya diganti dengan rangkaian pendek, arusnya tidak dengan mendadak berhenti tetapi perlahan-lahan mati karena bidang magnet yang tersusun oleh

arus tersebut hilang. Energi yang tersimpan dalam bidang magnet ini dihilangkan dari rangkaian. Penurunan arus terlihat pada persamaan berikut ini:

$$I = \frac{V}{R} e^{-(R/L)t}$$

Konstanta waktu di sini adalah  $L/R$ .

Pembaca dapat menganggap saluran komunikasi sebagai sesuatu yang mirip seperti pipa pemadam api. Seandainya si petugas pemadam kebakaran ingin mengirimkan data melalui pipanya. (Dia bukan seorang petugas asli tetapi seorang spion yang mempunyai kaki tangan di dalam gedung yang dimasuki pipa.) Dia berusaha mengirimkan data dengan sarana sebuah piston. Sewaktu dia mendorong dan menarik piston pada salah satu ujung pipa, pulsanya ditransmisikan ke piston penerima di ujung lainnya. Bila pipa itu benar-benar padat dan air yang di dalamnya benar-benar tidak dapat ditekan, gerakan piston penerima akan mengikuti gerakan pengirim dengan tepat. Selain itu, bila airnya tidak memiliki viskositas dan bergerak sepenuhnya tanpa gesekan, piston itu akan dapat bertransmisi dalam kecepatan yang sangat tinggi. Tetapi, pipanya tidaklah padat. Pipa itu agak elastik dan air dengan gelembung-gelembungnya di dalam pipa agak dapat ditekan; maka, piston penerima tidak mengikuti gerakan piston pengirim dengan tepat. Lebih-lebih ada viskositas dan gesekan; sehingga si piston tidak dapat bergerak dan bertransmisi pada kecepatan tanpa batas. Properti ini sangat analog dengan kapasitansi dan induktansi saluran komunikasi.

Bila "James Bond" kita yang menyamar sebagai petugas pemadam kebakaran ini berusaha untuk bertransmisi pada kecepatan yang benar-benar lambat, katakanlah 1 pulsa setiap 5 detik, piston penerima akan mengikuti gerakan piston pengirim dengan cukup jujur untuk mengenali setiap pulsa. Tetapi, saat dia meningkatkan kecepatan transmisinya, distorsi sinyal akan semakin besar. Bila dia bertransmisi pada kecepatan 2 pulsa per detik, kaki tangannya mungkin mampu menerima dengan tepat dan benar. Pada kecepatan 10 pulsa per detik, ini akan memerlukan peralatan penerima yang sensitif dan canggih untuk mendeteksi pulsa tanpa kesalahan. Pada saluran komunikasi kapasitansi dan induktansi alam pada saluran itu akan mempunyai akibat yang lebih serius bila frekuensi transmisi semakin tinggi. Semakin panjang jalurnya semakin buruk pula dampaknya. Selain itu ada kebisingan dalam saluran itu. Seandainya pipa pemadam api itu bergetar karena gerakan mesin di dekatnya. Pada tingkat kecepatan transmisi tinggi,

kekuatan pulsa yang diterima adalah sebanding dengan “kebisingan” ini, dan kesalahan dalam penafsiran data pun akan terjadi.

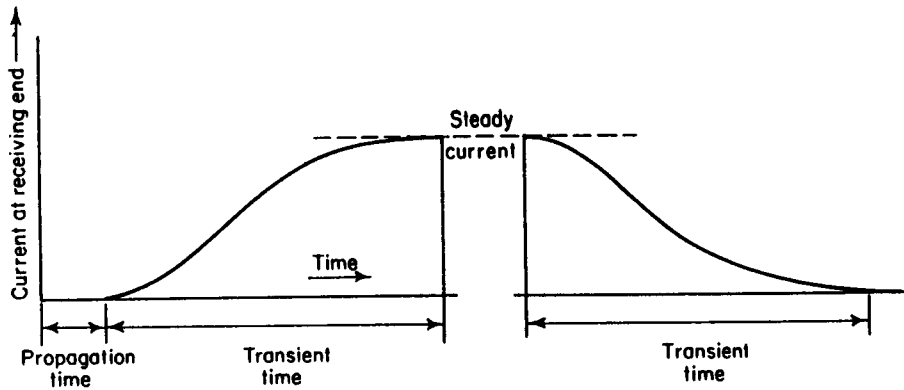
## **KURVA KEDATANGAN**

Properti pada saluran telegraf DC yang sudah ada agak lebih kompleks daripada yang mungkin disarankan pada persamaan sederhana tersebut di atas, dan dampak sementara dari resistansi, kapasitansi, induktansi, dan juga kebocoran dari saluran yang disebabkan oleh pengisolasian yang tidak begitu sempurna dapat disimpulkan dalam sebuah “kurva kedatangan.” Kurva semacam ini dilukiskan pada Gambar 9.4.

Kurva ini menunjukkan peningkatan arus pada ujung penerima suatu saluran sewaktu voltase tetap tiba-tiba dialirkan ke ujung pentransmisi. Bagian kanan diagram menunjukkan penurunan arus saat tegangan itu tiba-tiba dipindahkan. Ada interval antara pengaktifan voltase dan awal peningkatan arus di ujung lain. Ini disebut sebagai *waktu propagasi*, dan merupakan waktu yang diperlukan oleh sang sinyal untuk melewati saluran saat itu. Periode selama arus dibangkitkan atau dikurangi disebut *waktu peralihan*. Dari bentuk kurva kedatangan untuk saluran khusus, responsnya terhadap setiap perubahan voltase dapat dievaluasi. Bentuk tetap dari kurva kedatangan ini sulit dikalkulasi untuk saluran khusus secara teoretis tetapi dapat dihitung secara eksperimental. Bentuk ini dapat direkam dalam osciloskop.

Karena mengetahui bentuk kurva kedatangan untuk saluran yang ada, sedikit pola distorsi yang akan dialami dapatlah direncanakan dengan cara menambah dan mengurangi kurva kedatangan untuk berbagai, masukan perubahan voltase/tegangan. Ini dilakukan pada Gambar 9.5. Arus yang timbul pada ujung penerima dapat digunakan untuk mengoperasikan suatu relay. Pada Gambar 9.5 ini arus permulaan untuk pembukaan dan penutupan relay diberi garis putus-putus melalui kurva dari arus yang diterima. Bilamana arusnya lebih besar daripada ini, relaynya menutup, sehingga merekonstruksi perubahan voltase tajam yang setara dengan inputnya.

Bila jumlah bit yang ditransmisikan duakali lebih besar daripada yang digambarkan pada Gambar 9.5, maka mustahillah untuk mengatur tingkat awal untuk operasi relay yang akan memberikan hasil pola bit yang benar. Durasi pulsa masukan akan relatif terlalu kecil bila dibandingkan dengan waktu peralihan saluran itu.



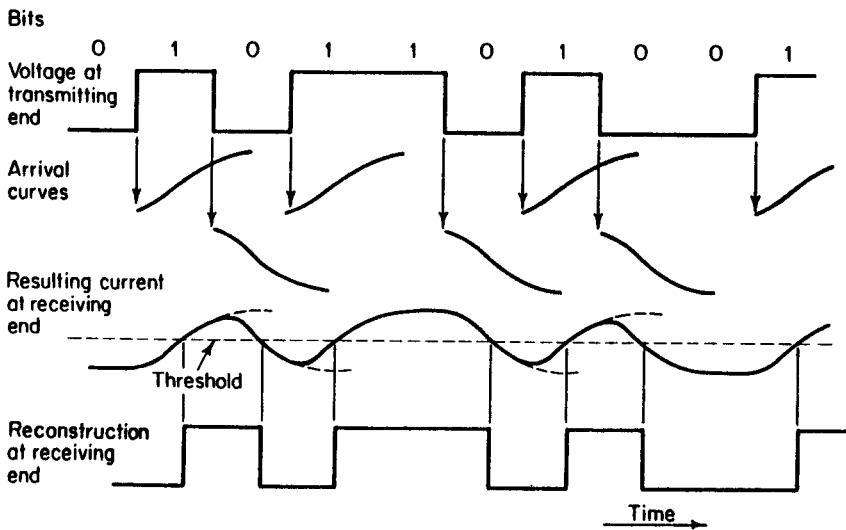
**Gambar 9.4** Kurva kedatangan untuk garis telegraf yang biasa (tidak bermuatan).

Ini adalah suatu kondisi yang tidak memungkinkan pengoperasian yang benar dari beberapa kabel bawah laut permulaan. Kabel pertama dibuat dari Inggris ke Perancis pada tahun 1850 setelah timbul beberapa kesulitan. Sarana penerima dihubungkan kepadanya oleh sekelompok peminat di pantai Perancis, dan pesan disampaikan dari pendiri perusahaan pembangunan kabel bawah laut kepada Pangeran Louis Napoleon Bonaparte. Tetapi waktu tempuh kabel di air ini lebih besar daripada yang diperkirakan, dan betapa bingungnya kelompok itu saat penerima mulai rewel. Sebelum sebab kerewelan ini ditemukan lebih jauh, jangkar seorang nelayan mengangkat saluran itu, dan nelayan itu mengangkatnya ke kapal sambil keheran-heranan dan memotong sebagian untuk ditunjukkan kepada temannya!

## HUKUM KELVIN

Waktu tempuh terutama diakibatkan kapasitansi, resistansi, dan panjang salurannya. Pada tahun 1855, Kelvin menyusun hukum yang terkenal dalam telegraf yang menyatakan bahwa untuk suatu saluran yang induktansi dan kebocorannya serta impedansi terminalnya dapat diabaikan, kecepatan pengoperasian maksimumnya adalah berbanding terbalik dengan  $CRl^2$ , dimana  $C$  adalah kapasitansi per satuan panjang,  $R$  adalah resistansi per satuan panjang, dan  $l$  adalah panjang salurannya.





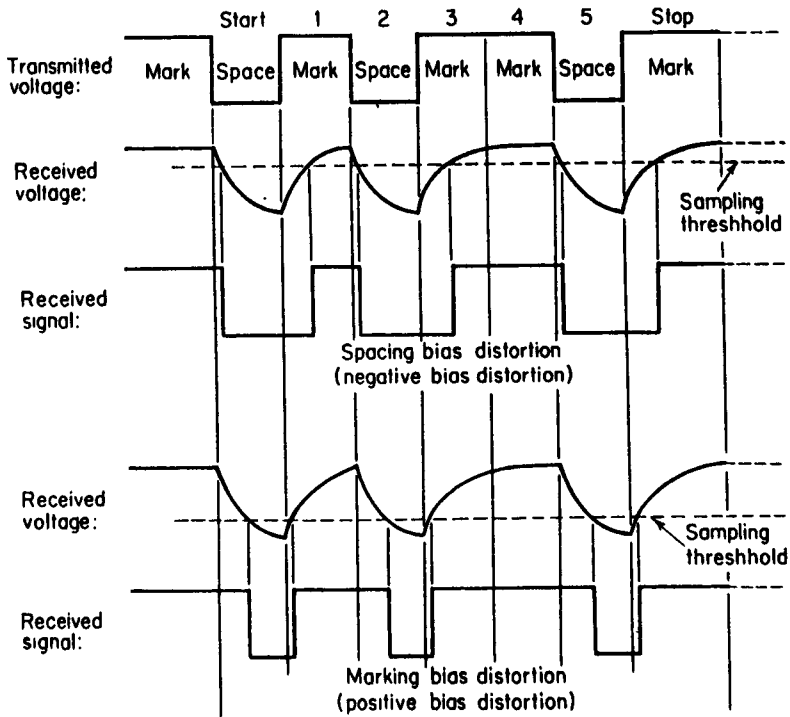
**Gambar 9.5.** transmisi baseband data. Arus yang diterima memungkinkan pola bit asli direkonstruksi, sebagai contoh, dengan menggunakan sarana relay. Bila tingkat transmisi melalui saluran yang sama ini digandakan, relay pada ujung penerima tidak akan merekonstruksi dengan benar pola bitnya.

Dengan demikian, untuk bertransmisi pada tingkat yang ada, sebuah saluran tidak boleh melebihi jarak tertentu. Bila harus bertransmisi pada jarak yang lebih besar, maka sebuah repeater harus dipasang pada saluran itu.

Suatu sarana yang merekonstruksi dan meretransmisikan suatu tipe sinyal data disebut *repeater regeneratif*. Ini sesuai untuk rangkaian mikroelektronik modern disamping juga untuk rangkaian relay yang lebih tua. Suatu repeater yang tidak regeneratif hanya memperkuat sinyal dan mengkoreksi tipe distorsi tertentu yang telah terjadi tetapi tidak merekonstruksi deretan pulsa bergerigi yang baru.

## DISTORSI MENYIMPANG

Karena bentuk kurva kedatangannya, distorsi dapat terjadi di sepanjang bit yang diterima. Ini dilukiskan pada Gambar 9.6. Karena sebuah “tanda” berubah menjadi “spasi” maka akan terjadi sedikit penundaan dalam penurunan pada voltase yang diterima; maka mesin penerima mengawali spasinya agak terlambat. Demikian pula, pembangkitan voltase saat suatu spasi berubah menjadi



**Gambar 9.6** Distorsi Menyimpang (bias). Karena bentuk kurva kedatangannya, permulaan penerima yang disesuaikan secara sembarangan akan menyebabkan “distorsi bias (menyimpang).” Salah satu diantara bit (tanda) dengan spasi (bit 0) akan diperpanjang dan diperpendek dan sebaliknya.

tanda tidak dapat terjadi secara seketika, maka mesin penerima akan mengawali tanda itu agak terlambat. Anggaplah bahwa permulaan sampling rangkaian penerima diatur agak terlalu tinggi. Sebagaimana pada Gambar 9.6, ini akan menyebabkan transisi dari spasi-ke-tanda agak lebih lambat daripada transisi dari tanda ke spasi. Alhasil, spasi yang diterima akan lebih lama daripada tanda itu. Demikian pula bila permulaannya diatur terlalu rendah, tanda itu akan diperpanjang sehingga melampaui spasi itu.

Efek ini akan semakin besar bila kecepatan transmisi dan nilai  $CRI^2$ -nya semakin tinggi. Ini dapat pula semakin buruk bila beberapa saluran telegraf bertumpuk menjadi satu. Bila distorsi menyimpangnya terlalu buruk, ini akan menimbulkan penerimaan-data yang tidak benar.

## PEMUATAN

Hilangnya tipe yang disebutkan adalah jauh lebih tinggi dalam rangkaian pemasangan kawat yang terbalut daripada dalam saluran kawat-telanjang karena kapasitansinya lebih besar. Ada beberapa cara untuk mengurangi  $CR$ -nya, dan dengan demikian mengurangi kehilangannya. Resistansi dapat dikurangi dengan menggunakan konduktor kabel lebih besar. Kapasitansi dapat dikurangi dengan jalan menambah jarak pemisahan konduktor. Keduanya pendekatan ini digunakan pada kawat yang dibentangkan di antara kutub telegraf, tetapi ada batas pelaksanaannya misalnya mengenai seberapa banyakkah jarak antarkawat itu serta seberapa berat atau mahalkah biayanya. Dalam kabel, penambahan konduktor atau penjarakan antara konduktor akan mengurangi jumlah rangkaian terpisah yang dapat dibawa oleh sebuah kabel; maka, sekali lagi ada batas mengenai hal-hal yang harus dilakukan.

Heaviside pada tahun 1887 menyatakan bahwa distorsi dapat diminimalisasi dengan membuat hubungan antara induktansi dengan kapasitansi saluran untuk memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$RC = LG$$

Dimana  $L$  adalah induktansi per satuan panjang.

$R$  adalah resistansi per satuan panjang.

$C$  adalah kapasitansi per satuan panjang, dan

$G$  adalah konduktansi shunt (langsiran) per satuan panjang, kadang-kala dikenal dengan nama kebocoran (leakansi), suatu ukuran untuk kebocoran yang terjadi di antara konduktor pada saluran itu.

$RC$  telah dibuat sekecil mungkin, tetapi masih cukup besar bila dibandingkan dengan  $LG$  pada saluran telepon atau telegraf konvensional. Induktansi dan kebocorannya sangat kecil. Sangatlah diperlukan untuk meningkatkan leakage saluran, karena ini akan mengurangi sinyalnya; dengan demikian, untuk memenuhi persamaan  $RC = LG$ , induktansinya ditingkatkan.

Karya cipta Heaviside ini pertama kali diaplikasikan pada kabel bawah laut. Kabel ini tidak mempunyai repeater; sehingga distorsi merupakan problem parah.

Untuk meningkatkan induktansinya, kawat baja dililitkan pada intinya. Kemudian ditemukan bahan yang daya magnetiknya lebih baik, dan kini pada kabel modern, inti konduktornya dilapis secara helikel dengan lapisan tipis lempeng aluminium permanganat atau mumetal. Kabel semacam ini memiliki permeabilitas magnetik tinggi. Dengan sarana ini kecepatan transmisi kabel pada umumnya dapat ditingkatkan 4 kali lipat. Beberapa desain kabel awal ditingkatkan antara 8 sampai dengan 10 kali lipat.

Menambahkan induktansi pada kabel disebut “memberi muatan (loading)” padanya. Membungkus kabel dengan pita magnetik atau kawat magnetis terlalu mahal untuk sebagian besar keperluan, dan ternyata menyisipkan kumparan pemberi muatan dalam jarak tertentu sepanjang jangkauan kabel itu adalah memuaskan. Induktansi kumparan serta jarak antarkumparan ditentukan untuk mengurangi distorsi dan dengan demikian memungkinkan terjadinya transmisi berkecepatan tinggi. Seringkali kumparan ini terdiri atas kawat tembaga yang dibungkus dengan cincin serbuk aluminium permanganat berpermeabilitas magnetik tinggi. Koil-koil semacam ini dapat dipasang pada setiap setiap satu mil pada rangkaian kabel. Bentangan kawat telanjang umumnya tidak pernah dimuati karena kapasitansinya jauh lebih kecil dan karakteristiknya cenderung berubah karena perubahan keadaan cuaca.

Pemuatan akan dibahas lagi dalam hubungannya dengan rangkaian AC (arus bolak-balik/alternating current) yang membawa jumlah data yang jauh lebih tinggi daripada yang dibahas dalam bab ini. Konstanta penurunan saluran yang kosong beragam frekuensinya. Pemuatan dapat menyebabkan kelemahan hampir konstan pada jangkauan frekuensi terbatas tetapi berguna, sebagaimana yang ditunjukkan di atas.

Pada umumnya, pada rangkaian AC maupun DC, pengurangan distorsi pada saluran berarti bahwa tingkat transmisi lebih tinggi akan dapat dicapai, dan kemungkinan kesalahan akan berkurang.