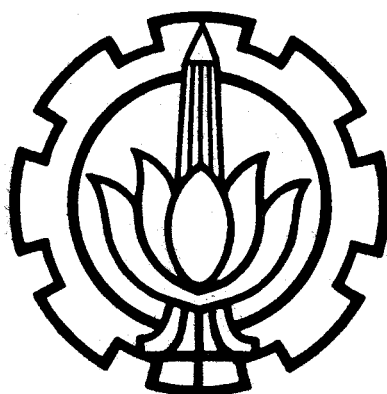


3156/ITS/H/00 ✓

STUDI ANALISA PENAMPILAN DATA BINER PADA SISTEM KOMUNIKASI TELEPON DIGITAL

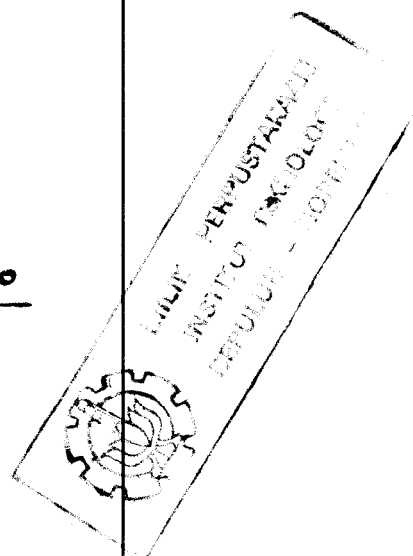


PGI
621.387
Pur
5-1
1000

Oleh :

Siswo Purnomo

NRP. 2832200090



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

STUDI ANALISA PENAMPILAN DATA BINER PADA SISTEM KOMUNIKASI TELEPON DIGITAL

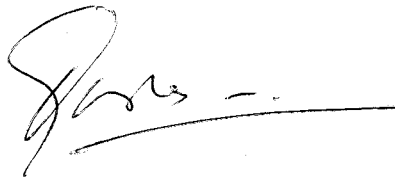
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Elektro**

Pada

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

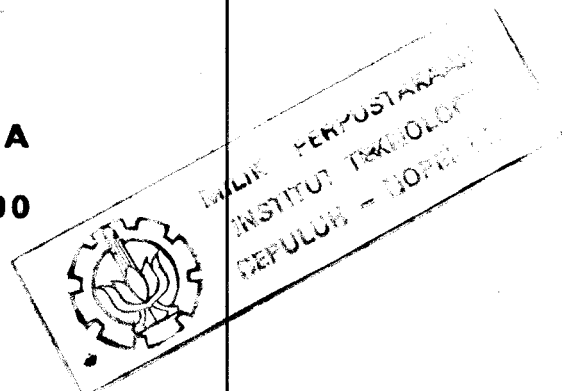
**Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing**



Ir. FAISAL GUNAWAN

SURABAYA

PEBRUARI, 1990



ABSTRAK

Untuk meningkatkan kualitas transmisi yang lebih baik serta dengan berkembangnya teknologi semikonduktor telah mendorong pula kemajuan sistem digital. Sehingga dari segi penampilan kerja serta keluwesan dari sistem tersebut dapat ditingkatkan. Sistem PCM merupakan sistem modulasi yang banyak dipergunakan dimana informasi yang berupa sinyal analog diubah menjadi format digital. Dalam transmisinya sinyal ini kualitasnya tidak dipengaruhi oleh panjang jarak yang ditempuh karena sinyal-sinyal yang cacat dengan mudah dibentuk kembali oleh stasiun pengulang (repeater).

Macam-macam kode biner yang dipergunakan dalam sistem PCM dan kode-kode tersebut mempunyai karakteristik serta penampilan kerja yang berbeda satu dengan yang lain. Kode biner yang satu mempunyai keunggulan dari salah satu segi dari pada yang lain begitu juga sebaliknya.

Pembatasan penampilan kerja oleh noise merupakan salah satu cara untuk mengetahui seberapa besar kesalahan yang terjadi jika kode-kode biner tersebut ditransmisikan sehingga dapat merupakan pertimbangan dalam pemakaiannya.

Penggunaan kode-kode biner pada sistem komunikasi telepon digital mempunyai penampilan kerja yang jelek tetapi dalam aplikasinya hal tersebut dapat dikompensasi dengan kemampuan kode biner tersebut dalam mendeteksi adanya kesalahan.

KATA PENGANTAR

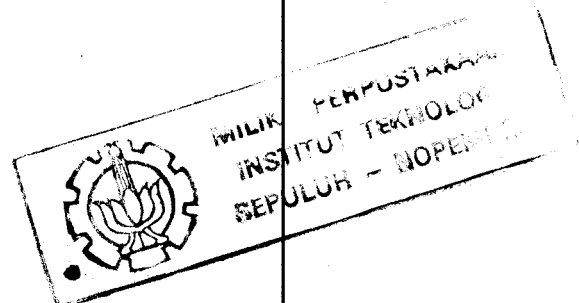
Segala puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala taufiq dan hidayahnya serta kekuatan sehingga kami mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro di Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya.

Dengan menyadari adanya keterbatasan pada diri kami khususnya mengenai pengetahuan tentang sistem komunikasi telepon digital, maka pada kesempatan ini pula kami minta maaf apabila dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat kekurangan serta kekhilafan pada isi buku ini. Harapan kami semoga buku yang sederhana ini dapat berguna buat almamater tercinta, khususnya yang ingin mengetahui serta berminat memahami sistem komunikasi telepon digital.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Syariffuddin Mahmudsyah MEng, Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya.



2. Bapak DR. Ir. Agus Mulyanto MSc, Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya.
3. Bapak Ir. Faisal Gunawan, selaku Dosen Pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Serta rekan-rekan yang di Lab Elektronika Komunikasi yang telah memberikan dorongan baik moril maupun material dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Dan kepada siapa saja yang belum kami sebutkan atas bantuannya dalam penulisan buku ini, kami mengucapkan terima kasih. Semoga kebaikan yang telah diberikan kepada kami, dapat balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

DAFTAR ISI

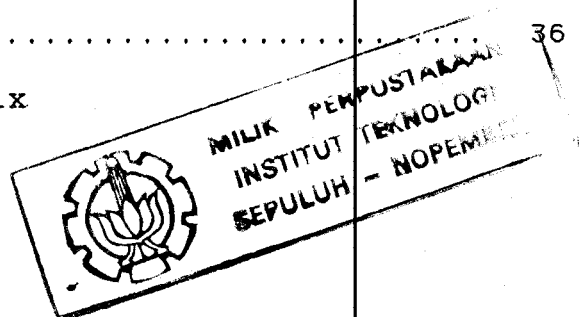
BAB	HALAMAN
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
I. PENDAHULUAN.....	1
I. 1. Latar Belakang.....	2
I. 2. Permasalahan.....	3
I. 3. Pembatasan Permasalahan.....	4
I. 4. Sistematika Pembahasan.....	4
I. 5. Relevansi.....	5
II. TEORI PENUNJANG.....	6
II. 1. Pendahuluan Sistem Transmisi Informasi.....	6
II. 1. 1. Perencanaan Sistem Komunikasi Digital.....	7
II. 1. 2. Kapasitas Informasi.....	10
II. 2. Digitalisasi Sinyal Analog.....	11
II. 2. 1. Teorema Sampling.....	13

II. 2. 2. Time Division Multiplexing.....	16
II. 3. Penerapan Pada Modulasi Kode Pulsa.....	19
II. 3. 1. Kuantisasi	23
II. 3. 1. 1. Kuantisasi uniform.....	25
II. 3. 1. 2. Kuantisasi non uniform.....	28
II. 3. 2. Pemberian Kode.....	30
II. 3. 2. 1. Kode μ 255 8 bit.....	31
II. 3. 2. 2. Kode A-law.....	34
II. 3. 3. Multiplek PCM.....	34
II. 3. 4. Sistim Transmisi PCM.....	37
II. 3. 4. 1. Sistim Transmisi PCM 30 Kanal.....	37
II. 3. 4. 2. Sistim Transmisi PCM 24 Kanal.....	40
II. 3. 5. Lebar Bidang PCM.....	42
II. 3. 6. Kapasitas Informasi Dari Sistim PCM.....	43
II. 3. 7. Penggunaan PCM dalam Jaringan Telepon Digital.....	53
II. 4. Regeneratif Repeater PCM.....	46
III. KODE SALURAN SISTEM TELEPON DIGITAL.....	49
III. 1. Kode Saluran.....	49
III. 1. 1. Non Return to Zero.....	50
III. 1. 2. Return to Zero.....	53
III. 1. 3. Biphase.....	56
III. 1. 3. 1. Delay Modulation.....	60
III. 1. 3. 2. Code Mark Inversion.....	61

III. 1. 4. Bipolar atau Alternate Mark Inversion.....	62
III. 1. 4. 1. Bipolar N-Zero Substitution.....	66
III. 1. 4. 2. High Density Bipolar N.....	69
III. 2. Power Spectral Density.....	71
III. 2. 1. PSD Non Return to Zero.....	74
III. 2. 2. PSD Return to Zero.....	75
III. 2. 3. PSD Biphasic.....	78
III. 2. 4. PSD Bipolar.....	79
IV. P E M B A H A S A N.....	83
IV. 1. Analisa Kesalahan Penampilan Data Biner.....	83
IV. 1. 1. Tingkat Kesalahan Pulsa Biner Unipolar....	84
IV. 1. 2. Tingkat Kesalahan Pulsa Biner Polar.....	87
IV. 1. 3. Tingkat Kesalahan Bipolar.....	90
IV. 1. 4. Signal to Noise Ratio.....	92
IV. 2. Kesalahan Pada Repeater-repeater PCM.....	95
IV. 3. Pertimbangan Penggunaan Kode Saluran.....	99
IV. 3. 1. Pertimbangan Dari Tingkat Kesalahan.....	102
IV. 3. 2. Pemakaian Repeater.....	103
IV. 4. Penggunaan Kode Saluran.....	106
V. K E S I M P U L A N.....	108
DAFTAR PUSTAKA.....	111
USULAN TUGAS AKHIR.....	113
LAMPIRAN.....	115

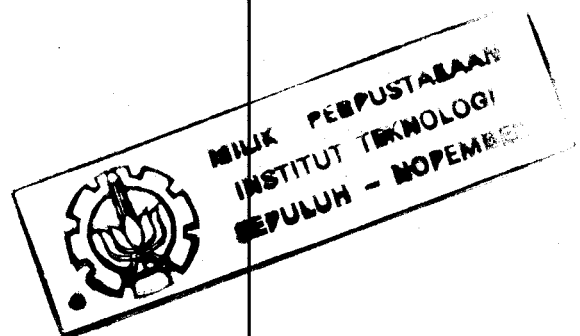
DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
2. 1. BLOK DIAGRAM TRANSMISI DIGITAL.....	6
2. 2. TRANSMISI INFORMASI BINER.....	8
2. 3. BLOK DIAGRAM ADC.....	12
2. 4. SWITCHING SAMPLER.....	13
2. 5. SPEKTRUM HASIL UNDERSAMPLING TERHADAP SINYAL IN- PUT.....	15
2. 6. PROSES ALIASING.....	15
2. 7. BLOK DIAGRAM TDM.....	17
2. 8. BENTUK GELOMBANG TDM.....	18
2. 9. BLOK DIAGRAM PCM.....	20
2. 10. SISTEM PEMBANGKIT PCM.....	21
2. 11. OPERASI KUANTISASI.....	24
2. 12. UNIFORM KUANTISASI.....	25
2. 13. NON UNIFORM KUANTISASI.....	28
2. 14. PENGKUANTISASI NON UNIFORM KE UNIFORM.....	29
2. 15. PIECEWISE LINEAR SEGMENT APPROXIMATION TO μ LOGARITHMIC COMPANDOR.....	255 32
2. 16. PENEMPATAN 8 BIT BILANGAN BINER.....	33
2. 17. WORD INTERLEAVING TDM.....	35
2. 18. HIRARKI MULTIPLEK PCM.....	36
2. 19. BIT INTERLEAVING.....	36



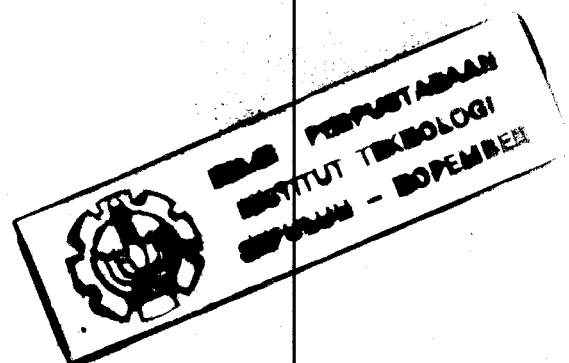
2. 20.	STRUKTUR FRAME 30 KANAL.....	38
2. 21.	FORMAT MULTIFRAME 30 KANAL.....	39
2. 22.	FORMAT FRAME 24 KANAL.....	41
2. 23.	LEBAR BIDANG SERIAL PCM.....	42
2. 24.	BANK KANAL DENGAN A/D DAN D/A.....	45
2. 25.	BLOK DIAGRAM REGENERATIP REPEATER.....	46
2. 26.	PROSES PEMBENTUKAN SINYAL PADA REPEATER.....	47
3. 1.	BENTUK KODE PULSA NRZ.....	51
3. 2.	PENKODEAN NRZ(I).....	52
3. 3.	DEKODER NRZ(I).....	52
3. 4.	BENTUK GELOMBANG PENKODEAN NRZ(I).....	53
3. 5.	BENTUK KODE RZ.....	54
3. 6.	PENKODEAN RZ.....	55
3. 7.	DEKODER RZ.....	55
3. 8.	BENTUK GELOMBANG PENKODEAN RZ.....	55
3. 9.	BENTUK GELOMBANG BIPHASE.....	57
3. 10.	PENKODEAN BIPHASE.....	58
3. 11.	DEKODER BIPHASE.....	58
3. 12.	BENTUK GELOMBANG PENKODEAN BIPHASE.....	58
3. 13.	PENKODEAN CONDITIONED BIPHASE.....	59
3. 14.	BENTUK KODE DELAY MODULATION.....	60
3. 15.	BENTUK KODE PULSA CMI.....	61
3. 16.	BENTUK KODE BIPOLAR.....	63
3. 17.	PENKODEAN SINYAL BIPOLAR.....	64

3. 18.	KARAKTERISTIK KODE BIPOLAR.....	65
3. 19.	BENTUK GELOMBANG B6ZS.....	67
3. 20.	BENTUK GELOMBANG B3ZS.....	68
3. 21.	KODE HDB3.....	70
3. 22.	PSD SINYAL NRZ.....	75
3. 23.	PSD SINYAL RZ.....	77
3. 24.	PSD BIPHASE.....	79
3. 25.	PSD BIPOLAR.....	81
4. 1.	MODEL DETEKSI SINYAL.....	83
4. 2.	FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN UNIPOLAR NRZ.....	86
4. 3.	FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN POLAR NRZ.....	89
4. 4.	ATURAN DEKODER BIPOLAR.....	90
4. 5.	FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN SINYAL BIPOLAR.....	91
4. 6.	TINGKAT KESALAHAN KODE PULSA.....	94
4. 7.	REPEATER-REPEATER PCM.....	95



DAFTAR TABEL

TABEL:	HALAMAN
3. 1. BIPOLAR LOGIKA.....	62
3. 2. ATURAN SUBSTITUSI B6ZS.....	67
3. 3. ATURAN SUBSTITUSI B3ZS.....	68
3. 4. ATURAN SUBSTITUSI HDB3.....	70
4. 1. TRANSMISI DIGITAL.....	107



B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. LATAR BELAKANG.

Dengan adanya perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin maju dan canggih, pemakaian jasa telekomunikasi tidak terbatas pada yang konvensional saja. Tetapi lebih beragam seperti faksimil, data dll sesuai dengan tingkat kebutuhannya. Untuk memenuhi kebutuhan yang banyak ragamnya akibat proses dari modernisasi dan kebutuhan akan kemudahan hidup yang semakin meningkat itulah teknologi yang sesuai sangat dibutuhkan.

Teknologi telekomunikasi pada saat sekarang ini tidak dapat dipisahkan dengan sistem telekomunikasi itu sendiri dimana teknologi ini semakin pesat perkembangannya serta memberikan efisiensi yang lebih baik pada masa yang akan datang, sehingga dapat menggantikan sistem-sistem lama yang sudah tidak dapat secara efisien memberikan keuntungan. Sistem telekomunikasi digital banyak menggantikan sistem telekomunikasi yang menggunakan sistem analog yang secara keseluruhan relatif memberikan keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem analog. Disamping

itu sistem digital sangat penting dalam teknologi modern seperti sekarang ini dan yang lebih penting lagi karena konsep-konsep penting dalam transmisi informasi sedemikian mudahnya dikembangkan dengan mempelajari sistem digital.

Bermacam-macam cara untuk mentransmisikan informasi dan bermacam-macam pula cara yang dipergunakan di penerima. Transmisi informasi secara digital tidak hanya terbatas pada sinyal-sinyal digital tetapi juga sinyal-sinyal analog yang terlebih dahulu sinyal analog tersebut diubah kedalam format digital. Proses perubahan ini ada bermacam-macam cara dan tergantung pada kebutuhan untuk menyalurkan informasi. Cara tersebut dapat dilakukan dengan sistem Pulse Code Modulation (PCM), Differential Pulse Code Modulation (DPCM) maupun Delta Modulation.

Dalam sistem komunikasi digital ini pula dikenal adanya kanal yang dapat menghubungkan antara sumber dengan tujuan. Kanal dapat berupa kawat atau saluran telepon maupun ruang bebas seperti udara dimana sinyal informasi dapat ditransmisikan. Sinyal informasi dalam kanal informasi akan mengalami distorsi akibat adanya noise sehingga sinyal yang diterima di tempat tujuan akan mengalami perubahan sinyal yang tidak seperti aslinya. Adanya noise ini tidak dapat dihindarkan maupun dihilangkan sama sekali tetapi dapat dikurangi sehingga sinyal yang diterima masih

dalam bentuk sinyal aslinya dan tidak mengalami kesalahan informasi. Dalam transmisi sinyal biner disamping noise kesalahan informasi juga dapat disebabkan filter-filter sehingga sinyal biner tersebut bertumpang tindih kedalam celah waktu yang bersebelahan, menyebabkan kecacauan dalam penafsiran sinyal biner dan kesalahan-kesalahan pada output sistem. Persoalan yang penting dalam komunikasi telepon digital adalah Interferensi antar simbol (ISI) yang terutama mengganggu dalam transmisi sinyal biner melalui kawat-kawat telepon.

1.2. PERMASALAHAN.

Yang menjadi permasalahan dalam pembahasan disini adalah bagaimana mendapatkan penampilan data yang dapat diandalkan dari sistem transmisi data biner yang digunakan dalam sistem komunikasi telepon digital. Dengan adanya bermacam-macam kode saluran yang dapat dipergunakan mempunyai penampilan kerja yang berbeda sehingga dapat diambil manfaat secara optimum dalam pemakaiannya. Disamping itu juga pemakaian kode saluran yang menampilkan data biner tergantung tujuan dari pemakaiannya sehingga dalam aplikasinya kode biner tersebut memberikan keunggulan secara kualitatif.

1.3. PEMBATASAN PERMASALAHAN.

Ada beberapa macam cara untuk mentransmisikan data biner yang digunakan pada pengiriman sinyal digital. Data biner sebelum ditransmisikan melalui saluran transmisi terlebih dahulu di format ke dalam kode saluran.

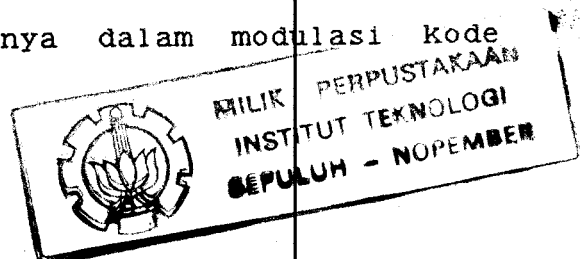
Pada tugas akhir ini akan dianalisa penampilan data biner yang berupa kode saluran dua level maupun tiga level yang merepresentasikan data biner dan merupakan format pulsa output dari sistem PCM yang biasa digunakan dalam sistem komunikasi telepon digital sehingga dapat diketahui karakteristik penampilan data biner tersebut serta penampilan kerjanya yang dibatasi oleh noise, sehingga menjadi pertimbangan penggunaannya dalam sistem telepon digital.

1.4. SISTEMATIKA PEMBAHASAN.

Secara sederhana buku tugas akhir ini akan dibagi dalam 6 Bab, yaitu Bab I sampai dengan Bab VI.

Bab I menguraikan secara ringkas pendahuluan dari tugas akhir ini.

Bab II menguraikan tentang teori penunjangnya dalam hal ini akan dibahas proses perubahan sinyal analog menjadi sinyal digital yang meliputi sampling, kuantisasi dan pengkodean serta penerapannya dalam modulasi kode



pulsa serta formatnya dalam sistem pentransmisinya.

Bab III menjelaskan mengenai macam-macam kode saluran yang digunakan dalam telepon digital serta bentuk kerapatan spektral dayanya.

Bab IV membahas mengenai penampilan kerja kode saluran dan pertimbangan dalam penggunaan kode saluran yang digunakan dalam jaringan telepon digital.

Bab V merupakan bab terakhir dari tugas akhir ini dan berisi kesimpulan dari pembahasan.

1. 5. RELEVANSI.

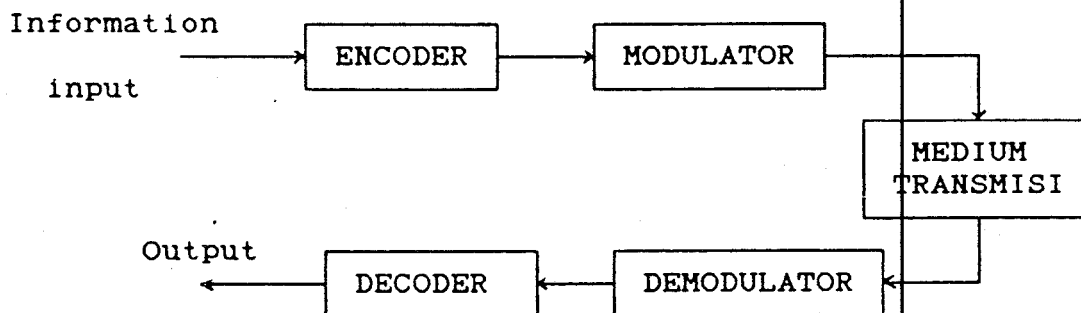
Dari pembahasan permasalahan diatas, diharapkan dapat dipergunakan sebagai pertimbangan dalam memilih sistem pentransmisi data biner guna memenuhi kebutuhan sarana informasi yang semakin meningkat di masa yang akan datang.

BAB II

TEORI PENUNJANG

II.1. SISTEM TRANSMISI INFORMASI.

Sistem merupakan satu kesatuan yang terdiri dari beberapa bagian yang saling menunjang satu dengan yang lain. Seperti transmisi informasi yang pada umumnya suatu sistem yang lengkap yang terdiri dari suatu transmitter, suatu medium pentransmisi di mana informasi tersebut ditransmisikan, dan suatu receiver yang dapat menghasilkan kembali informasi yang telah dikirimkan.



GAMBAR: 2.1¹⁾

BLOK DIAGRAM SISTEM TRANSMISI DIGITAL.

Transmitter merupakan sumber informasi yang dapat diambil dari sebuah komputer, teletypewriter, sistem tele-

¹⁾ R Smith, David. Digital Transmission, Van Nostrand Reinhold Company, New York. 1985. hal 12.

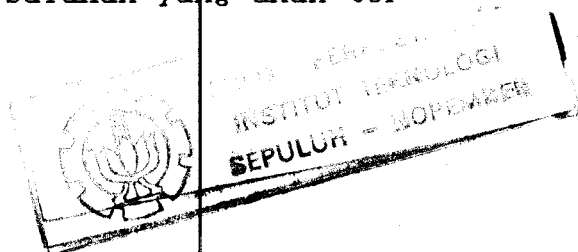
metri, sinyal suara, atau sinyal video. Blok diagram dari sistem transmisi digital ditunjukkan pada gambar 2.1.

Sumber dari encoder dalam format sinyal data banyak berupa karakter alphanumerik output dari komputer atau digitalisasi sinyal analog seperti suara atau gambar. Modulator merupakan perantara antara sinyal digital dengan medium transmisi yang disertai dengan perubahan parameter dari sinyal digital seperti frekuensi, phase, atau amplitudo. Medium transmisi dapat berupa kabel atau udara. Dalam medium transmisi, sinyal banyak dipengaruhi oleh noise, interferensi, atau distorsi.

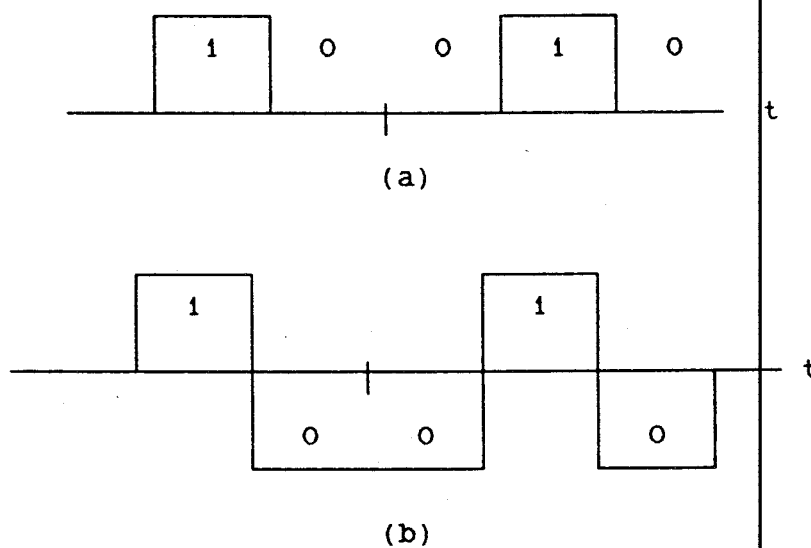
11.1.1. PERENCANAAN SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL.

Dalam pentransmisian informasi digital akan ditinjau dahulu pesan-pesan dalam format digital. Pesan data biner banyak dipergunakan dalam bermacam-macam sistem komunikasi digital. Dalam sistem komunikasi telepon digital sinyal-sinyal analog terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk format digital. Sinyal atau data biner adalah merupakan urutan dua jenis pulsa yang bentuknya sudah diketahui terlebih dahulu, yang terjadi pada interval jarak yang teratur. Seperti terlihat pada gambar. 2.2.

Perencanaan suatu sistem komunikasi ini yang terpenting adalah memperkecil jumlah kesalahan yang akan ter-



jadi dengan jalan perencanaan yang tepat, baik pada transmitter maupun receiver. Apakah sistem tersebut telah dirancang secara optimal dan ini memerlukan suatu evaluasi sistem secara kuantitatif, pemodelan efek saluran yang dimisalkan sebelumnya, noise yang timbul, dan lain sebagainya.



GAMBAR: 2.2.

TRANSMISI INFORMASI BINER

- (a). SINYAL BINER NON POLAR.
 (b). SINYAL BINER POLAR.

Diperlukan suatu pendekatan secara sistematis untuk mengatasi persoalan-persoalan yang timbul dengan menekankan efek-efek noise, filter dan lain sebagainya. Jika laju kesalahan sistem, yaitu banyaknya kesalahan rata-rata yang terjadi persatuan waktu terlalu tinggi maka akan diperlu-

kan suatu sistem yang lebih kompleks konfigurasinya seperti teknik-teknik pengkodean sinyal, pendeteksian kesalahan, dan prosedur pembetulan yang canggih sehingga biaya menjadi sangat mahal.

Untuk menjawab persoalan tersebut adalah dengan kecepatan transmisi yang tertentu yaitu R bit/detik sesuai dengan daya pada pengirim apakah mungkin untuk suatu saluran tertentu, mengurangi tingkat kesalahan sebanyak yang diinginkan sesuai dengan perencanaan semula. Suatu kesalahan yang terjadi, secara ideal dapat dikurangi serendah seperti yang dikehendaki dengan pengkodean yang tepat sinyal-sinyal input, asal kecepatan pensinyalan biner R , dalam bit per detik, adalah kurang dari pada suatu bilangan tertentu yang ditentukan oleh daya pemancar, noise saluran, dan waktu tanggap atau bandwidth dari pada saluran. Jika terlalu banyak informasi bit per detik pada saluran, maka kesalahan akan bertambah tinggi dan kecepatan transmisi maksimum ini dinamakan kapasitas saluran.

Dalam sistem komunikasi telepon digital harus diketahui terlebih dahulu berapa kecepatan biner R suatu sumber sinyal analog dalam hal ini sinyal suara karena kecepatan transmisi simbol-simbol biner pada saluran adalah tetap dan mula-mula sumber sinyal sifatnya bukan biner dan harus diubah terlebih dahulu ke dalam simbol-simbol biner.

11.1.2. KAPASITAS INFORMASI.

Banyaknya simbol biner dari suatu pesan yang akan ditransmisikan harus ditetapkan untuk menentukan apakah ditransmisikan melalui saluran tertentu atau tidak dan yang dimaksud dengan isi informasi adalah banyaknya simbol biner yang diperlukan secara rata-rata untuk dikirimkan.

Pada kenyataannya semua sistem komunikasi mentransmisi informasi dalam bermacam-macam bentuk dan diinginkan suatu ukuran untuk isi dari pada informasi pesan-pesan yang ditransmisi. Deretan biner merupakan contoh yang sederhana suatu sinyal yang ditransmisi yang berubah-ubah secara tak dapat ditentukan sebelumnya. Ada urutan 1 dan 0 tertentu yang tidak diketahui sebelumnya dan sesuai dengan pesan yang ditransmisi. Jadi informasi berhubungan dengan perubahan sinyal dengan waktu dan perubahan dalam cara yang tidak dapat ditentukan sebelumnya.

Banyaknya kombinasi yang terjadi dalam T detik dan mempunyai n tingkatan dan terjadi dalam selang τ detik sama dengan: nT/τ . Faktor kesebandingan akan bergantung pada basis yang dipergunakan dan yang paling umum adalah basis 2, atau dapat ditulis:

$$\text{Informasi} = \frac{1}{\tau} \log_2$$

(2 - 1)

Satuan informasi yang didefinisikan dalam cara ini adalah bit.

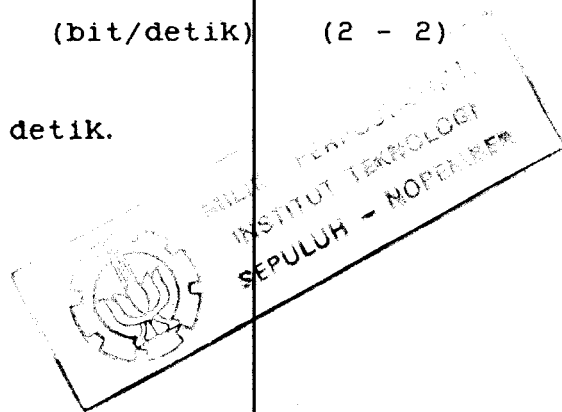
Kapasitas sistem (C) dapat didefinisikan sebagai laju maksimum pentransmisi informasi dan diberikan oleh persamaan:

$$C = \frac{\text{Informasi}}{T} = \frac{1}{\tau} \log_2 n \quad (\text{bit/detik}) \quad (2 - 2)$$

dimana : T = lama terjadinya dalam detik.

τ = interval dalam detik.

n = banyaknya tingkatan.



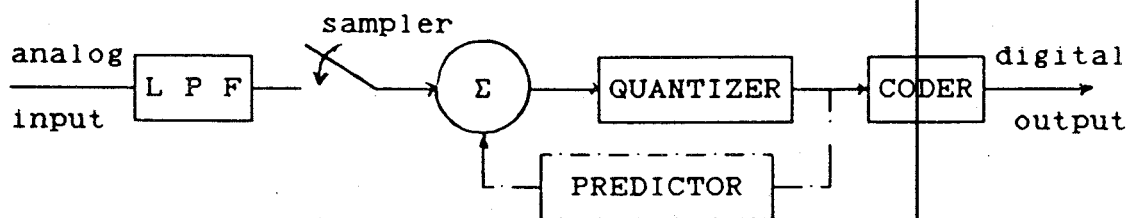
11.2. DIGITALISASI SINYAL ANALOG.

Pada sistem komunikasi digital sinyal-sinyal analog diubah terlebih dahulu kedalam format digital. Penggunaan yang sangat meluas dari sinyal-sinyal digital adalah terutama karena faktor kemampuan kode sinyal digital untuk meminimumkan pengaruh noise dan interferensi, disamping itu juga makin bertambahnya penggunaan dan tersedianya teknik-teknik pengolahan digital.

Sistem komunikasi telepon digital, dimana sinyal suara yang merupakan sinyal analog yang akan ditransmisi secara digital harus dikonversi dulu ke dalam suatu proses konversi analog to digital (A/D). Teknik (A/D) konverter semakin berkembang penggunaannya secara meluas. Untuk

standar modulasi kode pulsa dalam telepon digital, penggunaannya khusus dan terbatas untuk mendapatkan kepastian suara. Model (A/D) konverter dipilih tergantung aplikasinya dan kebutuhan akan penampilan dari pada sistem.

Penampilan (A/D) konverter dapat dikategorikan secara obyektif dan subyektif. Parameter obyektif yang penting adalah Sinyal to Distortion ratio (S/D) ratio. Bentuk sumber distorsi adalah kuantisasi distorsi dan slope atau amplitudo overload distorsi. Evaluasi obyektif memerlukan pendengaran dan pandangan dari manusia.



GAMBAR: 2. 3²⁾

BLOK DIAGRAM ANALOG TO DIGITAL KONVERTER.

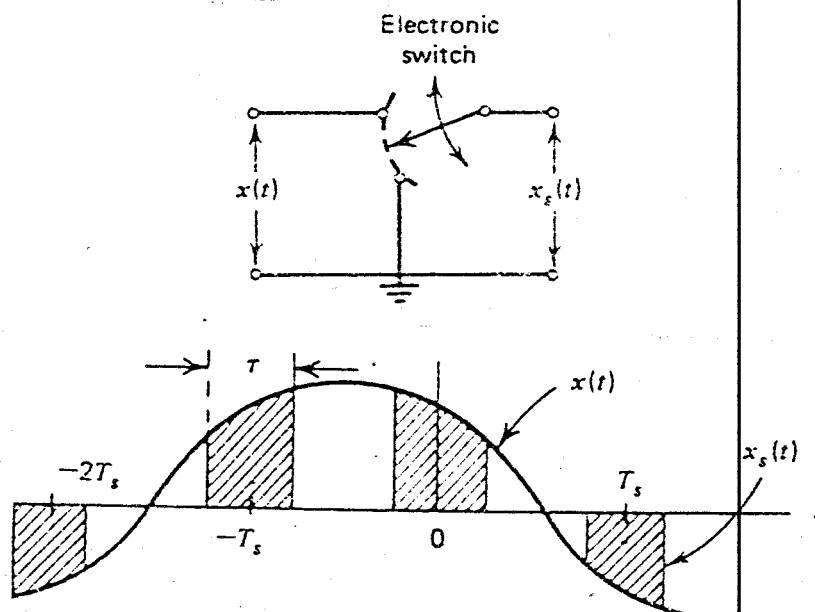
Prinsip dari (A/D) konverter seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Input sinyal suara pertama-tama dibatasi oleh low pass filter kemudian secara periodik disampling secara terus menerus. Hasil dari pada sampling merupakan sinyal diskret yang beramplitudo dan dengan proses kuantisasi sinyal diskret tersebut mempunyai level kuantisasi,

²⁾ ibid hal 19.

kemudian dengan format pengkodean sinyal yang telah di-kuantisasi tersebut ditransmisikan atau dimultiplexing dengan sinyal digital yang lain. Sehingga dalam satu saluran dapat ditransmisikan beberapa sinyal sekaligus.

11.2.1. S A M P L I N G.

Misalkan suatu sinyal kontinyu $x(t)$ yang akan di-konversi dalam format digital, mula-mula adalah mensampling sinyal $x(t)$ secara periodik pada suatu kecepatan f_s sampling per detik. Prinsip dari sampling dapat ditunjukkan pada gambar 2.4.



GAMBAR: 2.4³⁾

SWITCHING SAMPLER.

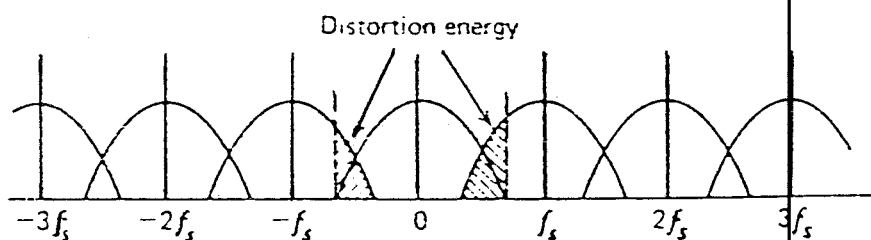
³⁾ K. Sam Shanmugam Digital and Analog Communication System, John Wiley Inc. New York 1979. hal 508.

Switch secara periodik berputar antara dua kontak dengan kecepatan $f_s = 1/T_s$ Hz, dimana T_s merupakan selang sampling dan τ lamanya waktu sampling. Proses sampling dilakukan untuk merubah sinyal $x(t)$ kedalam bentuk digital yang kemudian untuk pengolahan dan transmisi. Sinyal-sinyal sampling $x(s)$ mengandung didalamnya semua informasi mengenai $x(t)$.

Sinyal $x(t)$ dibatasi oleh lebar pita B Hz dan ini berarti tidak ada komponen-komponen frekuensi sama sekali diluar $f = B$ karena kandungan informasi turun dengan cepat di luar frekuensi $f = B$. Dengan demikian bahwa sampling sinyal tidak akan menghancurkan isi informasi asal kecepatan sampling $f_s \geq 2B$. Kecepatan sampling minimum $2B$ kali per detik dan dinamakan sampling Nyquist dan $1/2B$ adalah selang sampling Nyquist.

Untuk sinyal seperti suara biasanya difilter hingga $B = 3,3$ kHz, kecepatan Nyquist dengan demikian adalah $6,6$ kHz. Tetapi untuk transmisi digital biasanya suara disampling pada kecepatan 8 kHz dan ini untuk menjamin perpisahan spektrum-spektrum frekuensi dan untuk menyederhanakan persoalan low pass filter (LPF) untuk memperoleh kembali sinyal $x(t)$. Apabila kita mensampling dengan kecepatan yang terlalu rendah, sinyal dapat berubah secara radikal antara waktu-waktu sampling sehingga kehilangan in-

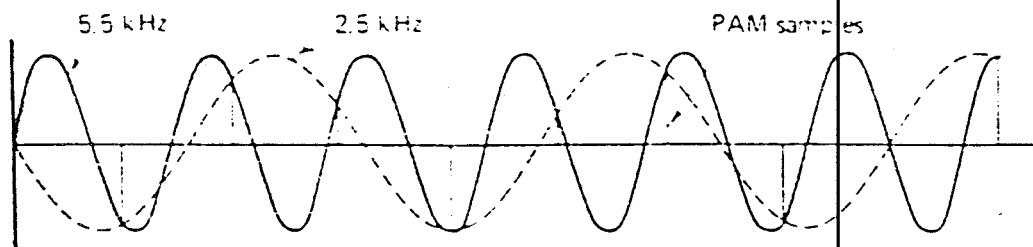
formasi dan akhirnya menghasilkan output yang terdistorsi. Spektrum asli bertumpukan dengan frekuensi sampling dan tidak dapat dipisahkan dari spektrum asli oleh filter, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



GAMBAR: 2.5⁴⁾

SPEKTRUM HASIL UNDERSAMPLING TERHADAP SINYAL INPUT

Sebagai akibat dari peristiwa diatas terjadi apa yang dinamakan aliasing. Gambar 2.6 menunjukkan proses aliasing yang terjadi jika sinyal 5,5 kHz disampling dengan kecepatan 8 kHz.

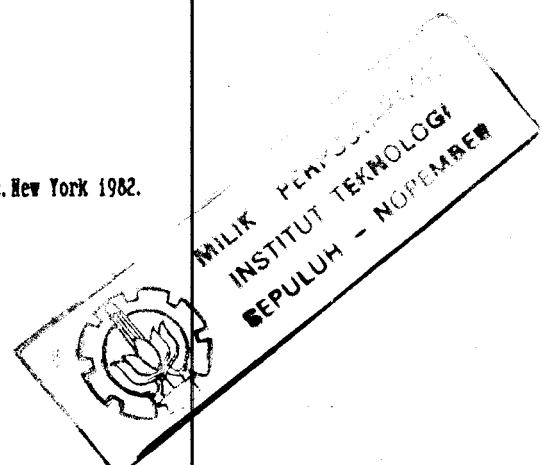


GAMBAR: 2.6⁵⁾

PROSES ALIASING

⁴⁾ Bellamy, John. Digital Telephony, John Wiley and Son Inc. New York 1982.

⁵⁾ ibid hal 88.



Hubungan kapasitas saluran dengan teorema sampling telah ditunjukkan oleh persamaan (2-2). Untuk lebar pita B dalam Hz dan dalam T' detik banyaknya bit yang dapat ditransmisikan melalui saluran adalah :

$$BT' \log_2 n \text{ bit} \quad (2 - 3)$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa informasi yang dapat ditransmisi pada suatu sistem dibatasi lebar pita adalah sebanding dengan perkalian lebar pita dengan waktu untuk transmisi dan ini dinamakan Hukum Hartley.⁶⁾

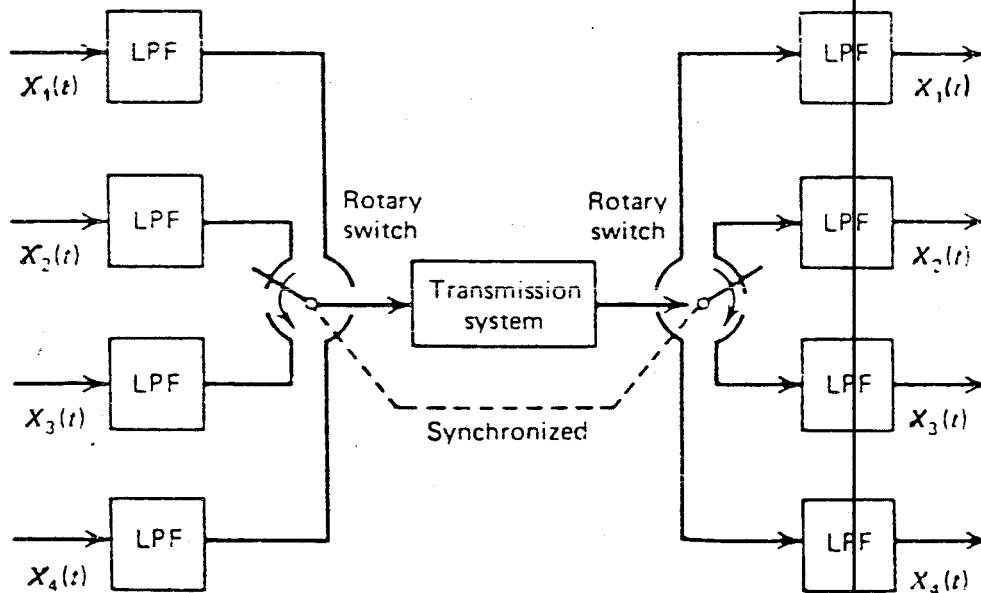
Hukum Hartley dan teorema sampling pada dasarnya adalah sama. Informasi yang dibawa oleh sinyal ini dengan demikian menurut hukum Hartley harus sebanding dengan BT', ini adalah hasil yang sama seperti yang diperoleh dari teorema sampling.

11.2.2. TIME DIVISION MULTIPLEXING.

Time Division Multiplexing merupakan suatu sistem dimana pentransmisi sampling informasi dari beberapa saluran sinyal secara serentak melalui suatu sistem komunikasi dengan sampling saluran yang berbeda diatur secara bergiliran dalam waktu.

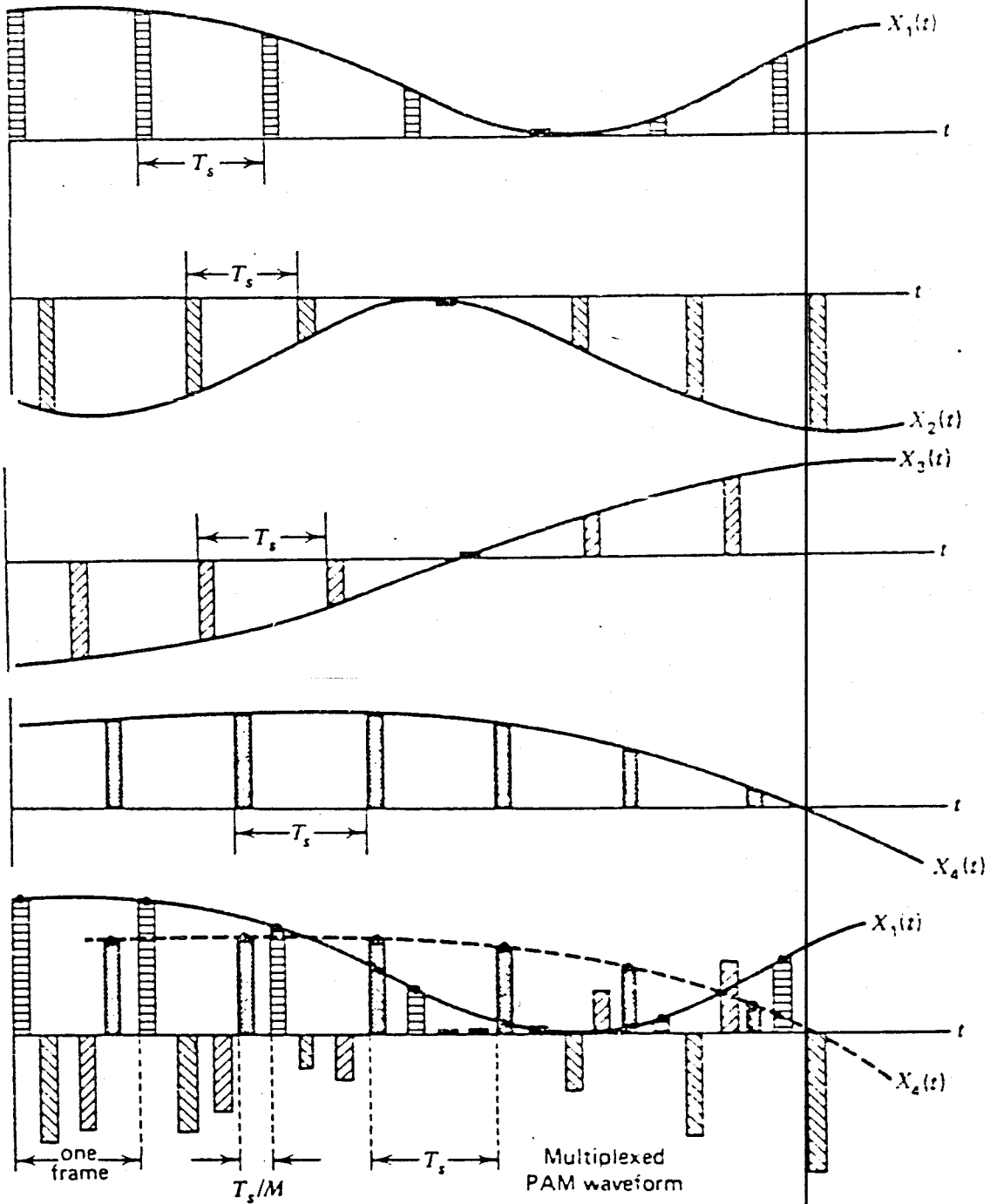
⁶⁾ Schwartz, Mischa. Transmission, Information, Modulation and Noise, Mac Graw Hill 1980. hal 107.

Sistem ini banyak dipergunakan pada sistem modulasi analog yang diubah menjadi pulsa-pulsa diskrit secara bergantian. Proses perubahan ini dilakukan dengan metode sampling, dan harus memenuhi kriteria Nyquist. Dalam hal ini sinyal input berupa sinyal analog yaitu suara yang mempunyai lebar bidang frekuensi terbatas sampai 4 kHz, jadi kecepatan sampling yang diperlukan adalah minimum dua kali frekuensi lebar bidang tersebut yaitu 8 kHz. Blok diagram sistem TDM untuk 4 kanal ditunjukkan didalam gambar: 2.7.



GAMBAR: 2.7¹⁾
BLOK DIAGRAM TDM

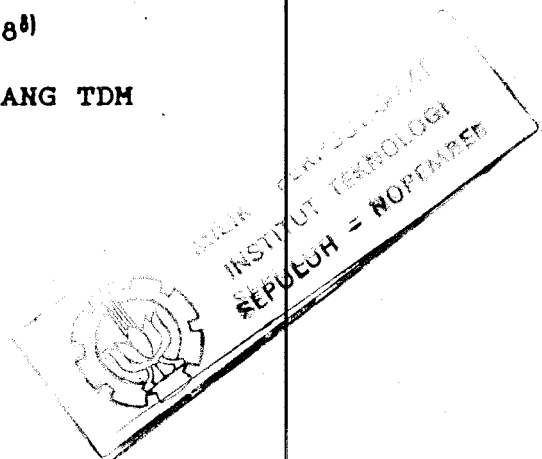
¹⁾ K. Sam Shanmugam *op. cit* hal 549.



GAMBAR: 2. 8⁸⁾

BENTUK GELOMBANG TDM

8) ibid hal 550.



Output dari switch merupakan gelombang Pulse Amplitude Modulation (PAM) yang terdiri dari sampel-sampel sinyal input. Sampel input yang berdekatan dipisah dengan jarak T_s/n , dimana n = Jumlah masukan (input) kanal. Deretan pulsa M terdiri dari satu sample yang diperoleh dari masing-masing n kanal masukan. Deretan pulsa ini dinamakan frame. Bentuk gelombang TDM dapat dilihat dalam gambar: 2.8, dan $T_s = 1/f_s$ adalah jumlah putaran per detik dari rotary switch.

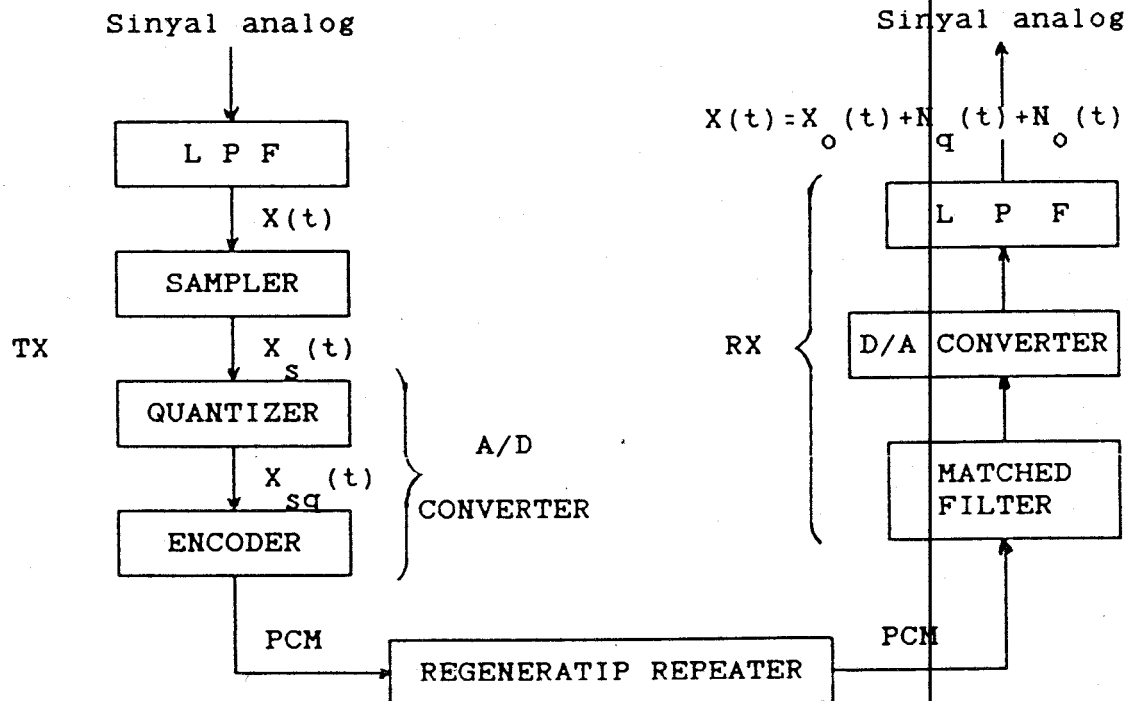
11.3. PENERAPAN PADA MODULASI KODE PULSA (PCM).

Sistem ini banyak dipakai dalam transmisi informasi digital biner. Ada beberapa keuntungan dengan mempergunakan sistem PCM:⁹⁾

1. Sinyal-sinyal dapat kembali secara teratur selama transmisi karena informasi tidak lagi diangkut dengan mengubah-ubah secara kontinyu amplitudo-amplitudo pulsa tetapi oleh simbol-simbol diskret.
2. Rangkaian digital dapat dipergunakan di seluruh sistem.
3. Sinyal-sinyal dapat diolah secara digital seperti yang diinginkan.
4. Noise dan interferensi dapat diminimumkan dengan pengkodean yang tepat sinyal-sinyal.

⁹⁾ Mischa Schwartz, op.cit hal 117.

Sistem ini terdiri dari beberapa bagian pengirim saluran transmisi dan bagian penerima, seperti pada gambar 2.9.



GAMBAR: 2.9¹⁰⁾

BLOK DIAGRAM PCM

Output dari sistem PCM dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X(t) = X_o(t) + N_q(t) + N_o(t)$$

dimana:

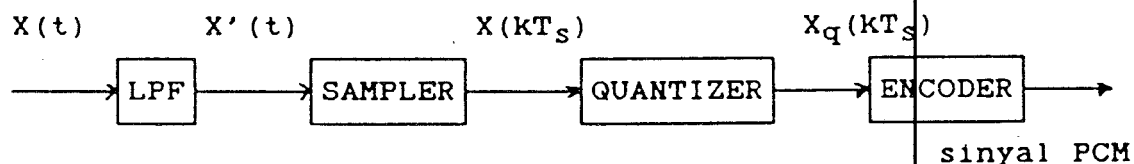
- $X_o(t)$ adalah komponen sinyal output.
- $N_q(t)$ adalah noise kuantisasi.
- $N_o(t)$ adalah noise saluran.

¹⁰⁾ Herman Pudjiono. Studi Pengkajian Sistem Telepon Digital dan Penerapannya di Kota Surabaya. Tugas Sarjana, FTI Elektro ITS. Juli 1986.

PCM merubah sinyal analog kedalam format digital melalui beberapa proses yaitu :

- Low Pass Filter.
- Sampling.
- Kuantisasi.
- Pengkodean.

Blok diagram dari pembangkitan sinyal PCM ditunjukkan pada gambar 2.10.



GAMBAR: 2.10

SISTEM PEMBANGKIT PCM

Dalam PCM proses yang paling menentukan adalah kuantisasi dan pengkodean. Sinyal analog yang merupakan sinyal input $X(t)$ dibatasi oleh Low Pass Filter sehingga mempunyai bidang frekuensi terbatas B Hz. Untuk keperluan teleponi sinyal suara dibatasi antara 300 - 3400 Hz. Sinyal tersebut disampling dengan kecepatan f_s dan harus sesuai dengan kriteria frekuensi Nyquist yaitu $f_s \geq 2B$ sehingga menghasilkan sinyal $X_s(t)$. Pada proses ini akan disampling dengan frekuensi sampling 8000 Hz. Ini berarti sinyal suara akan disample 8000 kali setiap detik. Fre-

kuensi sampling ini sudah memenuhi kriteria Nyquist yaitu lebih besar dua kali frekuensi band limitednya atau sebesar $2 \times 3400 \text{ Hz} = 6800 \text{ Hz}$ dan selisih frekuensi ini sebesar $8000 \text{ Hz} - 6800 \text{ Hz} = 1200 \text{ Hz}$ disebut dengan guard band yang dipergunakan untuk menekan atau menghilangkan frekuensi tinggi palsu yang sangat merugikan. Bila dianggap sampling ideal, maka secara matematis dapat ditulis:¹¹⁾

$$X_S(t) = X'(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_S) \quad (2 - 4)$$

dimana : $X'(t)$ merupakan sinyal yang akan disampel.

$X_S(t)$ adalah sinyal sampel.

Interval waktu yang diperlukan antara dua sampel yang berurutan dari sinyal yang sama dapat dihitung dari :

$$\begin{aligned} T_S &= 1/f_S \\ &= 1/8000 \\ &= 125 \mu\text{s}. \end{aligned}$$

Frekuensi sampling $f_S = 1/T_S$ dan persamaan diatas dapat ditulis :

$$X_S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(kT_S) \delta(t - kT_S) \quad (2 - 5)$$

¹¹⁾ K. Sam Shanmugam *op.cit* hal 510.

Setelah proses ini dihasilkan sinyal PAM selanjutnya menuju peralatan kuantisasi.

11.3.1. KUANTISASI.

Secara umum penampilan dari proses kuantisasi ini dinyatakan dengan suatu perbandingan antara sinyal terhadap noise pada output kuantisasi dan dinyatakan:¹²⁾

$$\frac{S_q}{N_q} = \frac{E\{[X_q(kT_s)]^2\}}{E\{[X(kT_s) - X_q(kT_s)]^2\}} \quad (2 - 6)$$

dimana: S_q = sinyal kuantisasi.

N_q = noise kuantisasi.

$X(kT_s)$ = harga sampel.

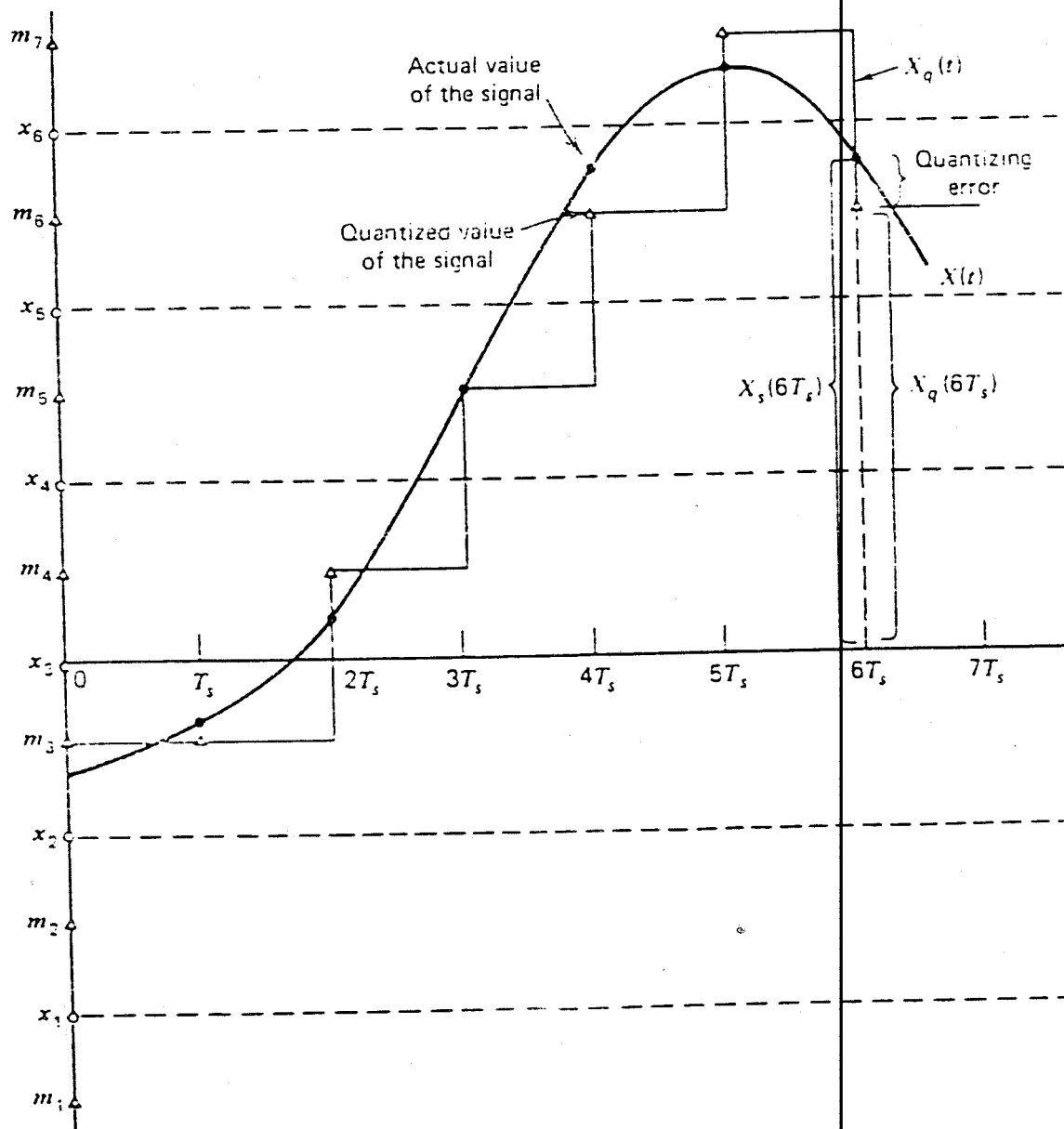
$X_q(kT_s)$ = harga setelah kuantisasi.

Dalam aplikasinya proses kuantisasi ini ada 2 macam :

1. Uniform Kuantisasi.
2. Non Uniform Kuantisasi.

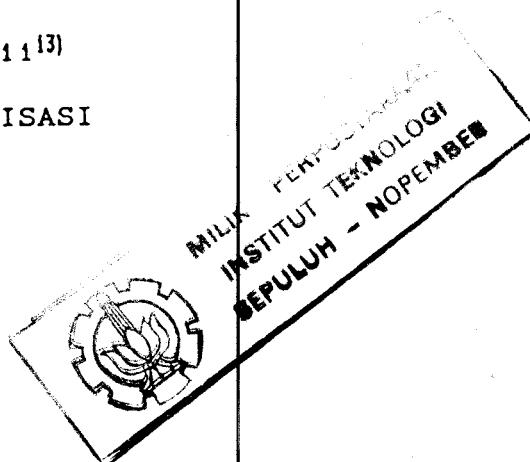
Sinyal-sinyal PAM yang dihasilkan dari proses sampling yaitu harga-harga sampel $X(kT_s)$ dikuantisasi menjadi harga diskrit, dimana waktu diskrit yaitu adanya proses sampling dan amplitudo diskret karena proses kuantisasi. Harga $X_q(kT_s)$ diganti kedalam level-level yang sesuai dengan level-level $m_1; m_2; m_3; \dots m_p$. Deretan dari level-level tersebut ditunjukkan seperti gambar 2.11.

¹²⁾ ibid hal 519.



GAMBAR: 2.11¹³⁾
 OPERASI KUANTISASI

13) ibid hal 519

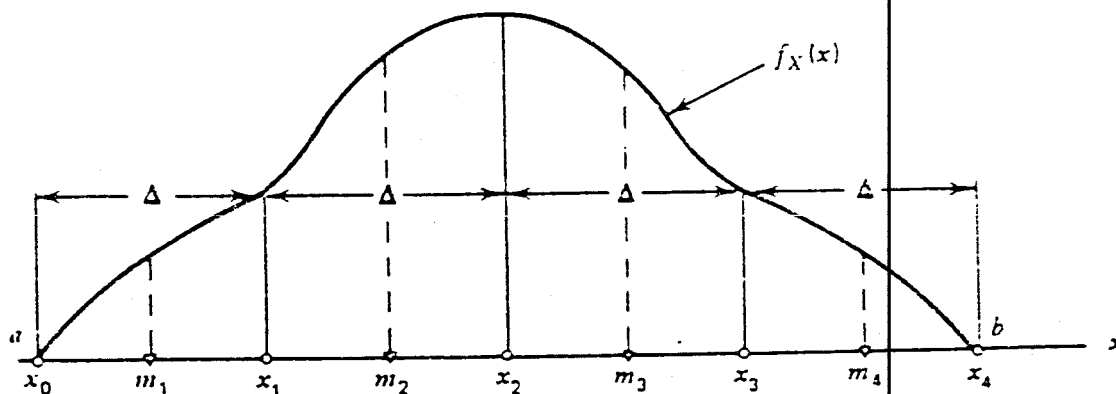


11.3.1.1. KUANTISASI UNIFORM.

Pada metode ini, jangkauan dari variabel X dibagi menjadi Q level dalam interval yang sama. Jika a dan b adalah batas harga minimum dari X seperti terlihat pada gambar 2.12. maka ukuran setiap step kuantisasi diberikan dengan :

$$\Delta = \frac{(b - a)}{Q} \quad (2 - 7)$$

dimana : Q adalah jumlah kuantisasi yang diinginkan.



GAMBAR: 2.12⁽¹⁴⁾

KUANTISASI UNIFORM.

STEP SIZE = Δ

$Q = 4$

⁽¹⁴⁾ ibid hal 520.

Keluaran (output) kuantisasi $X_Q(kT_s)$, dibangkitkan sesuai dengan :

$$X_Q = m_i \text{ jika } x_{i-1} < X \leq x_i \quad (2 - 8)$$

dimana : $X_Q = X_Q(kT_s)$

$$x_i = a + i\Delta$$

$$m_i = \frac{x_{i-1} + x_i}{2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, Q$$

Daya noise kuantisasi N_Q untuk uniform quantizer diberikan oleh:¹⁵⁾

$$\begin{aligned} N_Q &= E (X - X_Q)^2 \\ &= \int_b^a (x - x_Q)^2 f_x(x) dx \\ &= \sum_{i=1}^Q \int_{x_{i-1}}^{x_i} (x - m_i)^2 f_x(x) dx \end{aligned} \quad (2 - 9)$$

dimana: $x_i = a + i\Delta$

$$m_i = a + i\Delta - \Delta/2$$

Daya sinyal S_Q pada output quantizer dapat dituliskan:¹⁶⁾

$$\begin{aligned} S_Q &= E (X_Q)^2 \\ &= \sum_{i=1}^Q (m_i)^2 \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_x(x) dx \end{aligned} \quad (2 - 10)$$

^{15), 16)} ibid hal 519.

Didalam perhitungan rata-rata daya sinyal to quantizer ratio pada output dengan input Q-step uniform quantizer yang mempunyai power density function (pdf) uniform pada interval $(-a, a)$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 N_q &= \sum_{i=1}^Q \int_{x_{i-1}}^x \frac{1}{2} (x - m_i)^2 f_x(x) dx \\
 &= \sum_{i=1}^Q \int_{-a+(i-1)\Delta}^{-a+i\Delta} \frac{1}{2} (x + a - i\Delta)^2 \frac{1}{2a} dx \\
 &= \sum_{i=1}^Q \frac{1}{2a} \frac{\Delta^3}{12} \\
 &= \frac{Q\Delta^3}{(2a)12} \qquad (2 - 11)
 \end{aligned}$$

Jika $Q\Delta = 2a$, maka:

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} \qquad (2 - 12)$$

dimana :

$$f_x = \frac{1}{(a + a)} = \frac{1}{2a}$$

Daya sinyal yang keluar (S_q), diperoleh dari :

$$S_q = \sum_{i=1}^Q (m_i)^2 (1/2a) \qquad (2 - 13)$$

$$= \frac{Q^2 - 1}{12} (\Delta)^2 \qquad (2 - 14)$$

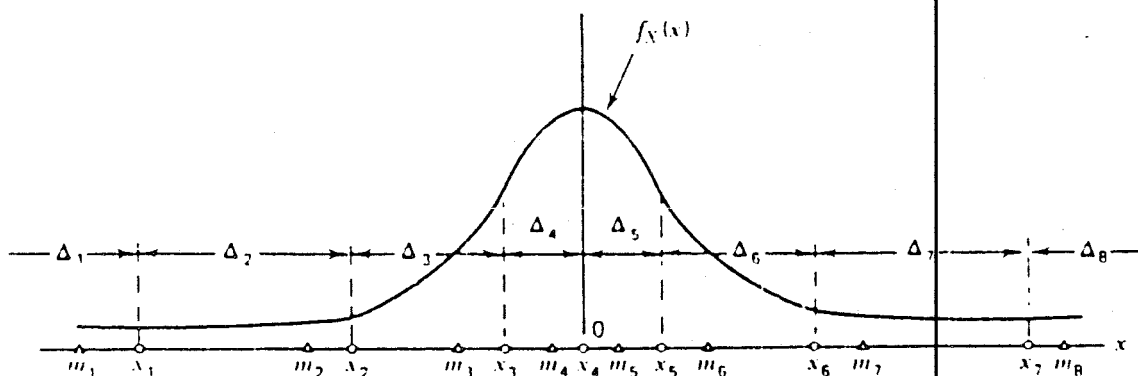
Jadi perbandingan sinyal rata-rata terhadap daya noise kuantisasi :

$$\frac{S_q}{N_q} = Q^2 - 1$$

$$= Q^2 \quad , \text{ bila } Q \gg 1 \quad (2 - 15)$$

11.3.1.2. KUANTISASI NON UNIFORM.

Untuk sinyal X yang memiliki fungsi kerapatan daya non uniform dalam mengkuantisasi ukuran setiap step (Δ) adalah berubah-ubah, seperti ditunjukkan pada gambar 2.13.



GAMBAR: 2.13¹⁷⁾

KUANTISASI NON UNIFORM

$$Q = 8$$

$$\Delta_i = \Delta_{Q+1-i}, \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

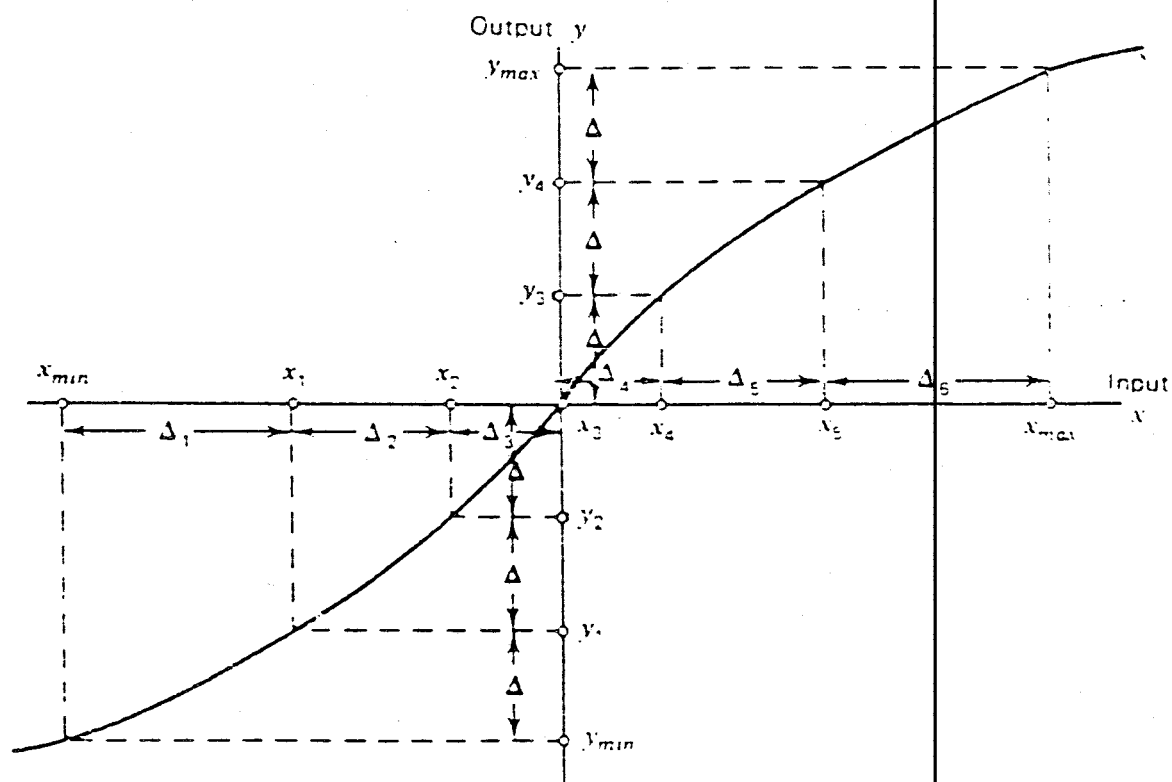
Dalam praktisnya non uniform quantizer direalisasikan dengan pemampatan sinyal sampel yang biasa disebut

¹⁷⁾ ibid hal 524.

compressor yang diikuti dengan suatu kuantisasi uniform. Transformasi pemampatan variabel X dirubah ke variabel Y dengan menggunakan transformasi non linier :

$$Y = g(X) \quad (2 - 16)$$

sedemikian sehingga $f_X(Y)$ mempunyai fungsi kerapatan daya yang uniform. Operasi dari compresor untuk merubah pengkuantisasi non uniform menjadi uniform ditunjukkan pada gambar 2. 14.



GAMBAR: 2. 14¹⁸⁾

PENGKUANTISASI NONUNIFORM KE UNIFORM

¹⁸⁾ ibid hal 525.

Pada penerima digunakan suatu expander, dengan transfer karakteristik g^{-1} . Gabungan antara kompresor dan expander dinamakan compander, dan kebanyakan compander ini menggunakan transformasi logaritmik yang dituliskan :

$$Y = \log X \quad (2 - 17)$$

dimana: Y = output transformasi.

X = besarnya level sinyal.

Dalam transformasi secara logaritmik digolongkan, menjadi 2 jenis yaitu A-law dan μ -law, yang masing-masing didefinisikan :¹⁹⁾

$$Y = \begin{cases} A \left| \frac{x}{x_{\max}} \right|, & 0 \leq \frac{x}{x_{\max}} \leq 1/A \\ 1 + \log(A) & \\ 1 + \log(A \frac{x}{x_{\max}}), & 1/A \leq \frac{x}{x_{\max}} \leq 1 \\ 1 + \log(A) & \end{cases} \quad (2 - 18)$$

dan

$$Y = \frac{\log(1 + \mu x/x_{\max})}{\log(1 + \mu)} \quad (2 - 19)$$

harga secara praktis A dan μ adalah 100.

11.3.2. PEMBERIAN KODE (ENCODING)

Proses selanjutnya setelah kuantisasi dalam proses PCM, sinyal akan dirubah ke dalam bentuk kode digital. Sinyal analog yang dibatasi LPF masuk sampler, sinyal ini

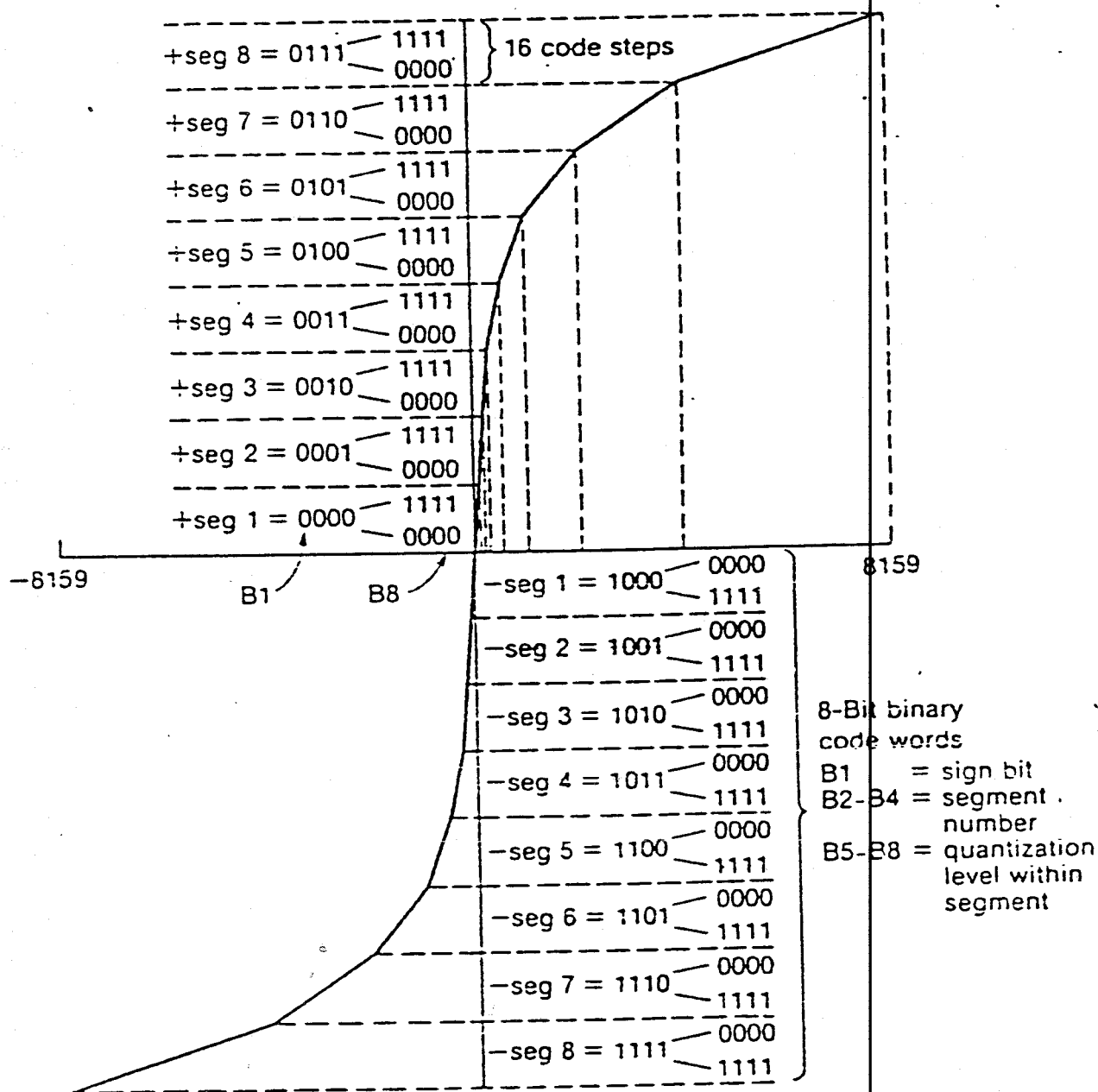
¹⁹⁾ ibid hal 524.

merupakan sinyal yang dinamakan Pulse Amplitude Modulation. Sinyal telepon yang terdiri dari beberapa sinyal dan merupakan sinyal analog akan mengalami proses sampling dan multiplexing. Untuk selanjutnya sinyal akan mengalami proses kuantisasi sebelum diubah kedalam kode biner.

11.3.2.1. KODE 8 BIT μ 255.

Encoding merupakan proses yang terakhir dalam pembangkitan sinyal PCM, dimana dalam hal ini harga sampel kuantisasi dirubah kedalam 8 digit binary character. Character kemudian dinyatakan dengan pulsa digital 1 dan 0, yang akan ditransmisikan. Pada gambar 2.15 ditunjukkan suatu cara pendekatan linier menggunakan 15 segment μ -255.

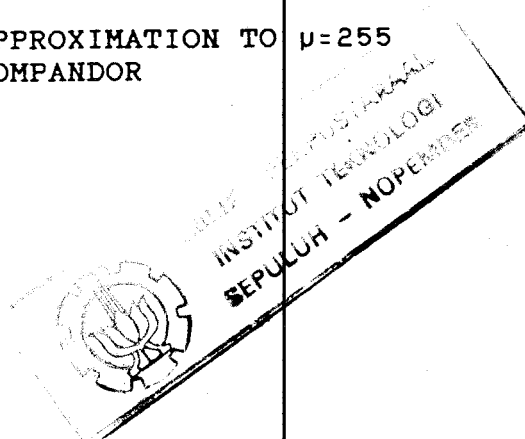
Jumlah level kuantisasi adalah 256, yang dibagi menjadi dua bagian 128 step bagian positif dan -128 step bagian negatif. Kurva coding terdiri dari 8 segment yaitu dari 0 sampai 7. Bilangan biner yang digunakan ada 8 bit. Nilai sampel direferensikan dengan skala penuh yaitu 8159. Sampel negatif dikodekan dengan polaritas bit 1, sedangkan sampel positif dengan polaritas bit 0. Error kuantisasinya adalah perbedaan antara nilai rekonstruksi nilai output dengan nilai sample input aslinya dan Output analog sampel pada dekoder nilainya diambil yang ditengah interval kuantisasi encoder.



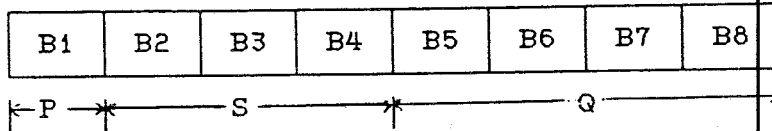
GAMBAR: 2. 15²⁰⁾

PIECEWISE LINEAR SEGMENT APPROXIMATION TO $\mu=255$ LOGARITHMIC COMPANDOR

20) David R Smith op. cit hal 84.



Format kode dari bit-bit tersebut sesuai dengan gambar 2.16.



GAMBAR: 2.16

PENEMPATAN 8 BIT BILANGAN BINER

Keterangan :

- P menyatakan polaritas dari pulsa PAM.
Bila P bernilai pulsa positif B1 berharga 1.
Bila P bernilai pulsa negatif, B1 berharga 0.
- S menyatakan kode segment yaitu letak segment garis mana dari kurva yang sesuai dengan tinggi dari pulsa PAM. S terdiri dari 3 bit yang dinyatakan dengan B2, B3 dan B4.
- Q menyatakan kode kuantisasi yang terdiri dari 4 bit yaitu B5, B6, B7 dan B8.

Kurva coding yang terdiri dari 8 segment tersebut, akan mempunyai 16 step level untuk tiap-tiap segment yaitu :

- Segment 1 menyatakan level kuantisasi dari 16-31
- Segment 2 menyatakan level kuantisasi dari 32-47
- Segment 3 menyatakan level kuantisasi dari 48-63

- Segment 4 menyatakan level kuantisasi dari 64-79
- Segment 5 menyatakan level kuantisasi dari 80-95
- Segment 6 menyatakan level kuantisasi dari 96-111
- Segment 7 menyatakan level kuantisasi dari 112-128

Demikian juga untuk 8 segment kurva coding negatif sama dengan kurva coding positif, seperti yang diuraikan diatas.

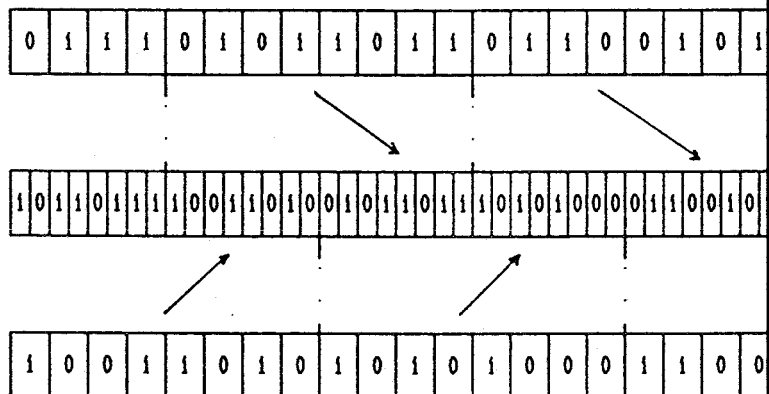
11.3.2.2. KODE 8 BIT A-LAW.

Prosedur untuk kode A-law pada dasarnya sama dengan kode μ -law. Perbedaannya terjadi pada range maksimum dari amplitudo sampel yaitu 4096 dan jika diinginkan skala faktor dari dua sistem dapat digabung menjadi 8192. Format kode biner sama dengan μ -law, yaitu terdiri dari bit tanda polaritas P diikuti dengan 3 bit segment kode identifikasi S dan 4 bit level kuantisasi Q. Lampiran B menunjukkan pembagian kode segment dan kode kuantisasi dari A-law encoding.

111.3.3. MULTIPLEK PCM.

Pada bagian digital multiplexing saluran dari beberapa kanal dimultiplek secara time division multiplexing dengan pulsa digital dari pensinyalan dan sinkronisasi. Tipe multiplek yang digunakan adalah word interleaving

TDM, yang ditunjukkan pada gambar 2.17. Keluaran dari multiplek ini adalah deretan pulsa-pulsa biner.

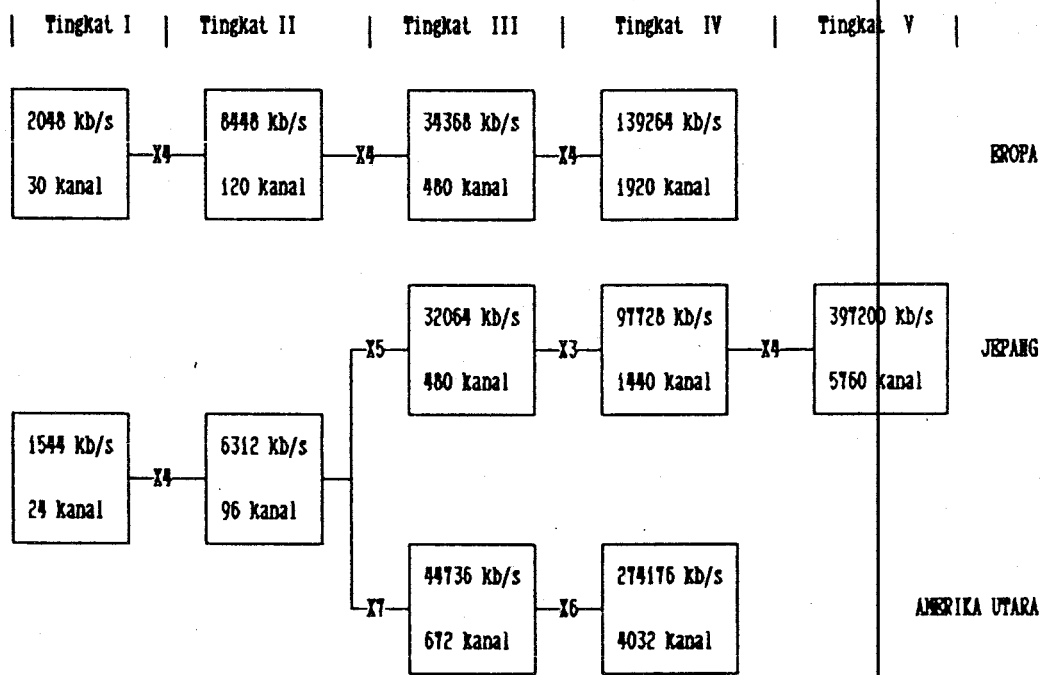


GAMBAR: 2.17

WORD INTERLEAVING TDM

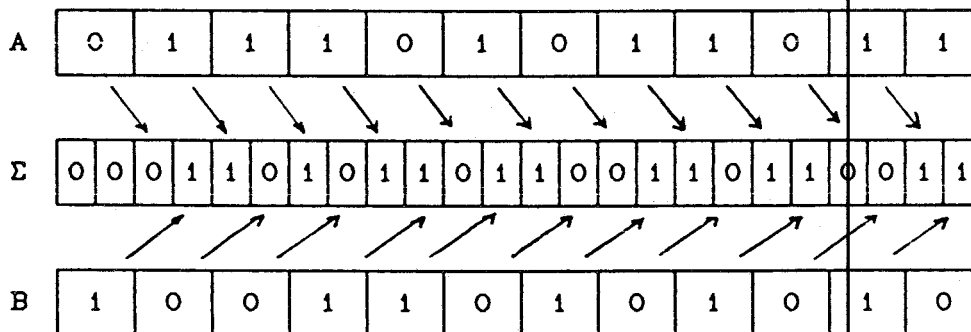
Sistem pemultiplekkan yang direkomendasikan oleh CCITT untuk pemultiplekkan PCM tingkat pertama adalah dengan kecepatan bit 1,544 Mbit/s yang digunakan di negara-negara Amerika Utara dan Jepang sedangkan negara-negara Eropa menggunakan 2,048 bit/s. Pada gambar 2.18 ditunjukkan hirarki multiplek yang telah direkomendasi oleh CCITT.

Sistim multiplek PCM untuk orde tinggi tidak menggunakan sistim multiplek word interleaving, tetapi digunakan sistim bit interleaving dan biasanya untuk memultiplekkan sinyal PCM yang berbeda-beda. Sistem multiplek ini adalah bit by bit dan prosesnya ditunjukkan pada gambar 2.19.



GAMBAR : 2. 18²¹⁾

HIRARKI MULTIPLEK PCM



GAMBAR: 2. 19

BIT INTERLEAVING

21) ibid hal 172.

II.3.4. SISTEM TRANSMISI PCM.

Informasi yang dikirim pada sistem PCM merupakan deretan pulsa-pulsa yang berupa kode biner. Pulsa-pulsa tersebut terdiri dari bermacam-macam informasi, hal ini tergantung pada banyaknya kanal yang dipakai di dalam sistem PCM tersebut.

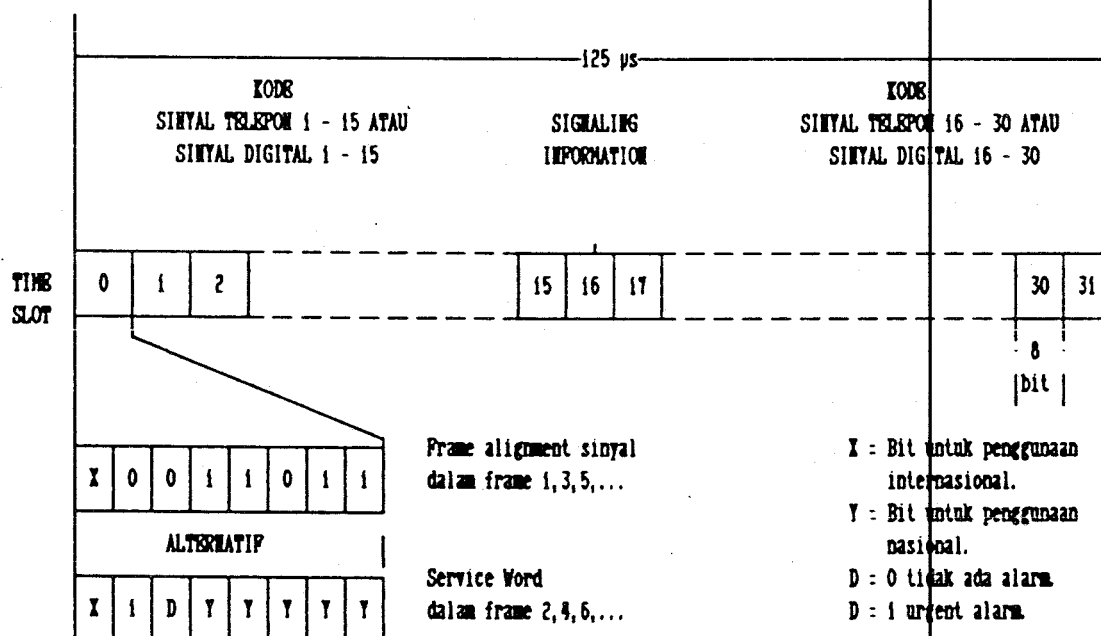
Penggabungan dari beberapa kanal yang digunakan dalam satu periode tertentu dinamakan dengan frame, dan penggabungan dari beberapa frame dinamakan multiframe. Dalam sistem PCM-TDM ini, pengiriman informasi dilakukan dengan cara bersama-sama dalam satu periode tertentu, sehingga penerima harus dapat mengenal kembali informasi yang telah dikirimkan dari tiap-tiap kanal. Untuk itu diperlukan sinkronisasi pada pengirim dan penerima.

III.3.4.1. SISTEM TRANSMISI PCM 30 KANAL.

Untuk PCM 30 kanal format frame PCM ditunjukkan pada gambar 2.20, sedangkan komposisi multiframe-nya ditunjukkan pada gambar 2.21. PCM 30 kanal tiap-tiap frame mempunyai time slot sebanyak 32 dimana 30 time slot dipakai untuk suara percakapan dan 2 time slot untuk pensinyalan dan sinkronisasi. Tiga puluh dua time slot terdiri dari time slot 0 sampai dengan 31, yang dinamakan 1 frame yang

panjang pulsa frame adalah 125 μ s. Pembagian frame tersebut sebagai berikut :

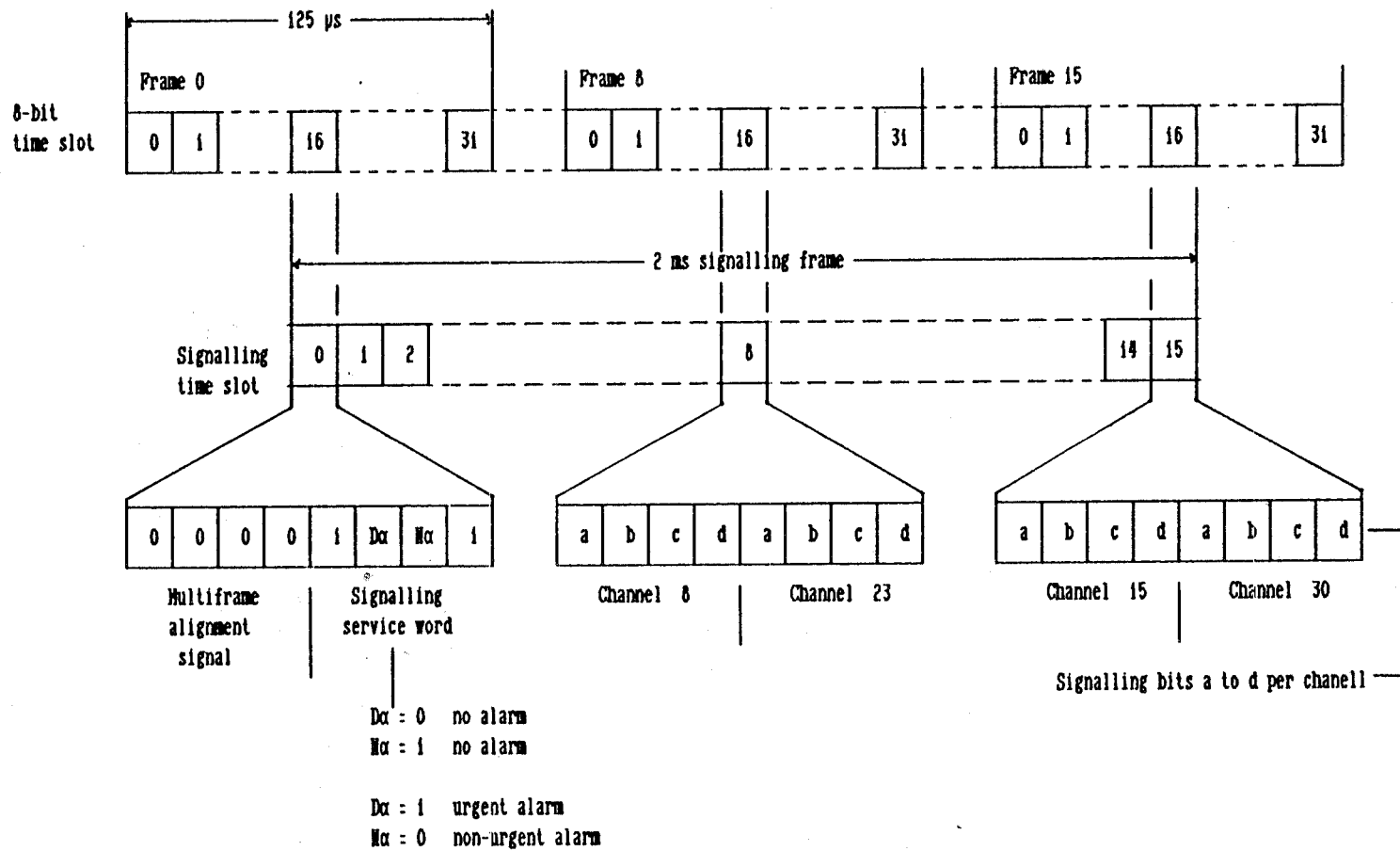
- Time slot 0 dipakai untuk sinkronisasi frame yang terdiri dari sinkronisasi frame genap dan sinkronisasi frame ganjil.
- Time slot 1 sampai dengan 15 dan time slot 17 sampai 31 dipakai untuk suara percakapan.
- Time slot 16 pada frame ke 0 dipakai untuk sinkronisasi multi frame.



GAMBAR: 2. 20²²⁾

STRUKTUR FRAME 30 KANAL

²²⁾ ibid hal 175.



GAMBAR : 2. 19²⁴⁾

FORMAT MULTIFRAME PCM 30 KANAL

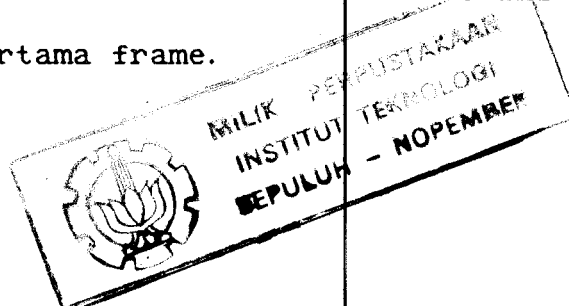
²⁴⁾ Ibid hal 175.

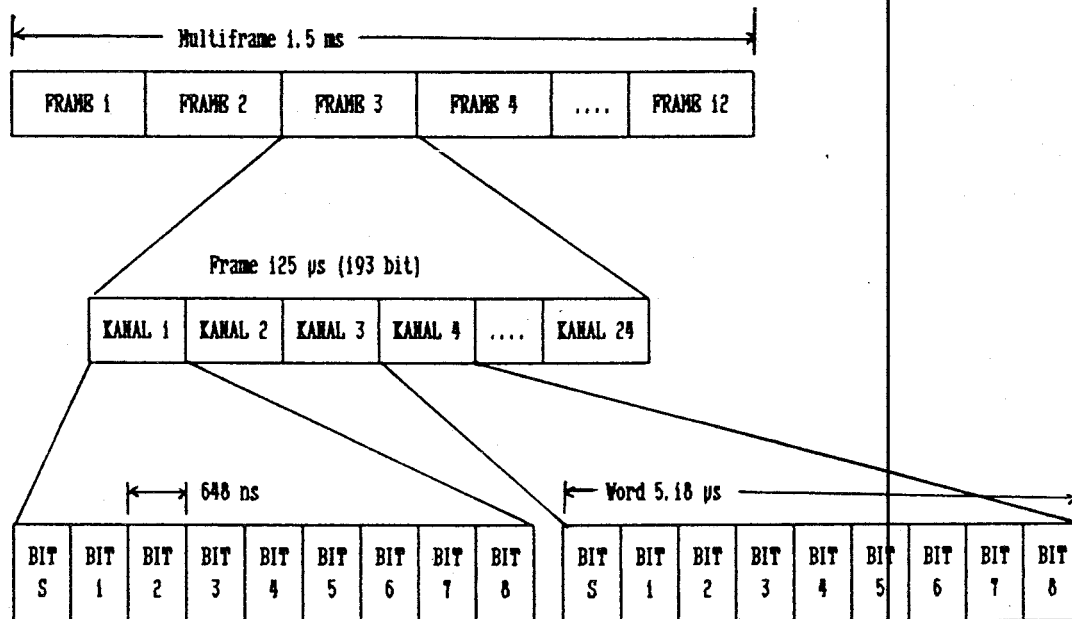
Time slot 0 digunakan untuk mensinkronisasikan frame, sehingga tiap-tiap frame yang dikirimkan dapat diterima dengan baik sesuai dengan susunan informasi yang telah dikirim.

Bentuk kode biner dari sinkronisasi frame atau frame alignment signal adalah: X0011011 dan ini merupakan kode tertentu untuk X biasanya diberi harga 1 dan khusus untuk penggunaan internasional. Sedangkan sinkronisasi multiframe atau multiframe alignment signal ditransmisikan melalui time slot 16 dengan kode 000. Tujuan dari sinkronisasi multiframe adalah untuk mengenal sinyal dari masing-masing kanal yang dikirimkan pada 15 frame, yang harus dikenal pada penerima.

III.3.4.2. SISTEM TRANSMISI PCM 24 KANAL.

Sistem ini dapat mentransmisikan 24 kanal secara bersamaan. Alokasi dari time slot dari tiap-tiap kanal ditunjukkan pada gambar 2.22. Tiap frame berisi $24 \times 8 = 192$ bit ditambah 1 bit untuk sinkronisasi, atau totalnya 193 bit tiap-tiap frame. Deretan dari 12 frame membentuk multiframe. Bit S atau bit tambahan digunakan secara bergantian untuk sinkronisasi frame dan multiframe. Bit S ini ditransmisikan sebagai bit pertama frame.



GAMBAR: 2. 22²⁴⁾

FORMAT FRAME TDM 24 KANAL

Sinyal sinkronisasi bit S mempunyai pola 101010 untuk frame yang bernomor ganjil. Sedangkan untuk yang bernomor genap mempunyai pola 001110 dan dijelaskan sebagai berikut:

Frame	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
S-bit	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0

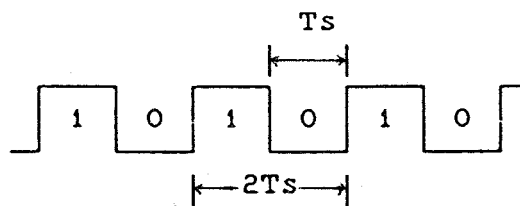
Dalam frame 6 dan 12 di tiap-tiap multiframe bit 8 digunakan untuk kanal pensinyalan A sedangkan bit 8 dari frame 12 digunakan untuk kanal pensinyalan B. Pensinyalan

²⁴⁾ Bates, Paul. "Digital and Data Communication with LSI Application" Prentice Hall Englewood Cliff New Jersey, 1987 hal 158.

informasi sudah termasuk informasi pengawasan (ON HOOK/OFF HOOK), dialing dan lainnya. Kecepatan data untuk tiap kanal pensinyalan adalah 1 bit/multiframe (1,5 ms) atau 666 bit/s.

11.3.5. LEBAR BIDANG PCM.

Dalam sistem komunikasi yang menggunakan PCM diperlukan lebar bidang untuk menyalurkan sinyal digital. Untuk menentukan lebar bidangnya kesulitannya adalah deretan dari n bit harus dikirim dalam tiap-tiap interval sampel, sementara kecepatan bit dalam saluran cukup tinggi.



GAMBAR: 2.23

LEBAR BIDANG SERIAL PCM

Lebar bidang maksimum pada serial PCM didapat pada waktu mengirim nilai logika 1-0-1-0-1-0 dan seterusnya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.23. Gelombang ini memerlukan 2 bit per putaran. Frekuensi gelombang ini setengah dari kecepatan bit, jadi lebar bidangnya :

$$f = \frac{1}{2T_s}$$

$$= \frac{br}{2}$$

$$\approx bw$$

Untuk sistem telepon PCM frekuensi suara maksimum 4 KHz dan frekuensi sampling yang dipergunakan $f_s = 8$ KHz dan kecepatan bit saluran 64 kbit/dt. Jadi lebar bidang minimum yang diperlukan sistem adalah 32 KHz.

11.3.6. KAPASITAS INFORMASI DARI SISTEM PCM.

Kapasitas informasi dari suatu saluran dengan noise saluran berdasarkan perumusan dari Shannon adalah:²⁵⁾

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (2 - 20)$$

dimana : S/N adalah perbandingan daya sinyal noise pada sisi input penerima.

B adalah lebar bidang saluran, Hz.

C adalah kapasitas informasi, bit/dt.

Noise saluran disini berupa noise putih (white noise).

Apabila saluran memakai kode tiap word yang terdiri dari k elemen kode yang masing-masing mempunyai harga

²⁵⁾ Simon Haykin, Communication System, Wiley Eastternlimited, New Delhi, 1979, hal 492

amplitudo diskrit A , maka kuantisasi level yang dihasilkan adalah:

$$D = A^k \quad (2 - 21)$$

Dengan mengasumsikan frekwensi maksimum sinyal adalah : $f_m = m$ Hz, yaitu sesuai dengan ketentuan Nyquist, sinyal yang disampel pada $f_s \geq 2f_m$, maka kecepatan dari pengiriman informasi atau kapasitas informasi adalah :

$$C = 2m \log_2 D \quad \text{atau}$$
$$C = 2mk \log_2 A \quad (2 - 22)$$

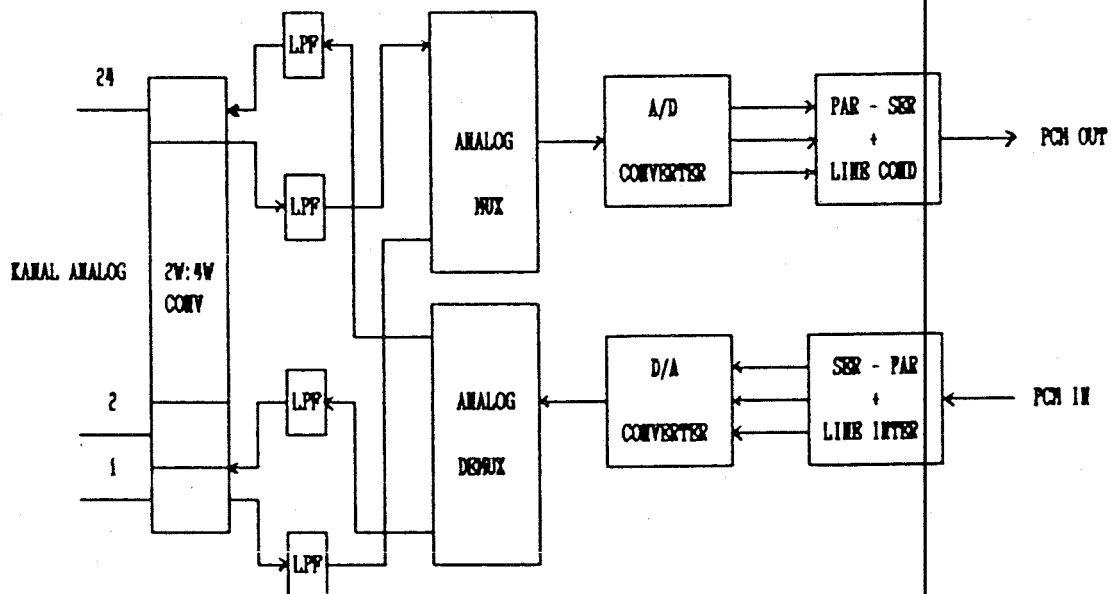
Batas noise dipengaruhi oleh jumlah level yang digunakan, untuk menyatakan elemen-elemen dari kode kata.

III.3.7. PENGGUNAAN PCM DALAM JARINGAN TELEPON DIGITAL.

PCM digunakan antar station dengan link empat kawat, dimana pemberian kode sampel dari 24 atau 30 suara kanal dimultiplexing dengan menggunakan Time Division Multiplexing (TDM) kedalam penerima serial dan pengiriman melalui bus digital.

Pengkonversian analog ke digital serta multiplexing dari kanal-kanal tersebut dilaksanakan di dalam sirkuit bank kanal. Perencanaan yang umum dari fungsi bank kanal diperlihatkan dalam gambar 2.24, dimana multiplexing dan

demultiplexing menggunakan switch analog, dengan A/D dan D/A konverter yang dibagi menjadi 24 bagian. Bank kanal mempunyai Low Pass Filter (LPF) yang mempunyai batas spektrum untuk sinyal input analog yaitu maksimum 4 KHz dan kecepatan sampling yang dipergunakan adalah 8 KHz.



GAMBAR: 2.24²⁶⁾

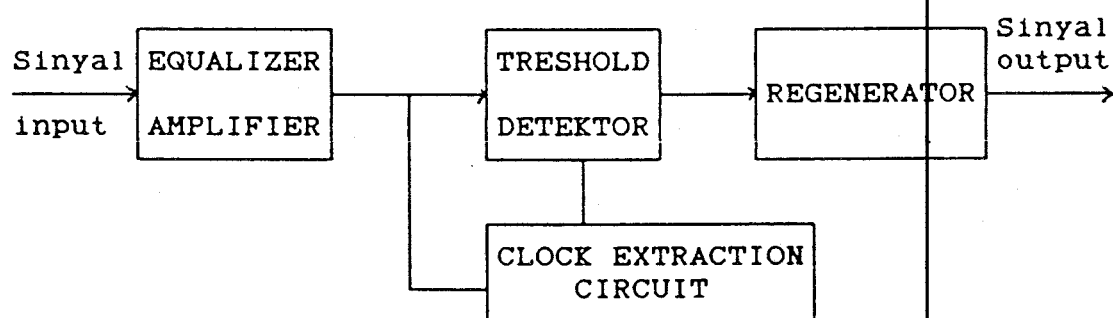
BANK KANAL DENGAN KONVERSI A/D DAN D/A

Output dari A/D converter merupakan data paralel dan untuk pentransmisiannya digunakan data serial oleh sebab itu diubah terlebih dahulu ke dalam format data serial. Demikian juga untuk penerimaannya data serial diubah terlebih dahulu ke dalam format data paralel.

²⁶⁾ Paul bates, *op cit* hal 157.

11.4. REGENERATIP REPEATER.

Regeneratip repeater merupakan peralatan saluran transmisi PCM yang berfungsi membangkitkan sinyal PCM pada kedua arah transmisi, sekaligus menghilangkan berbagai distorsi yang disebabkan oleh interferensi dari luar, atau karakteristik salurannya sendiri. Blok diagram ditunjukkan pada gambar 2.25.



GAMBAR: 2.25²⁷⁾

BLOK DIAGRAM REGENERATIP REPEATER

Pada repeater terdapat 3 proses dasar yaitu:²⁸⁾

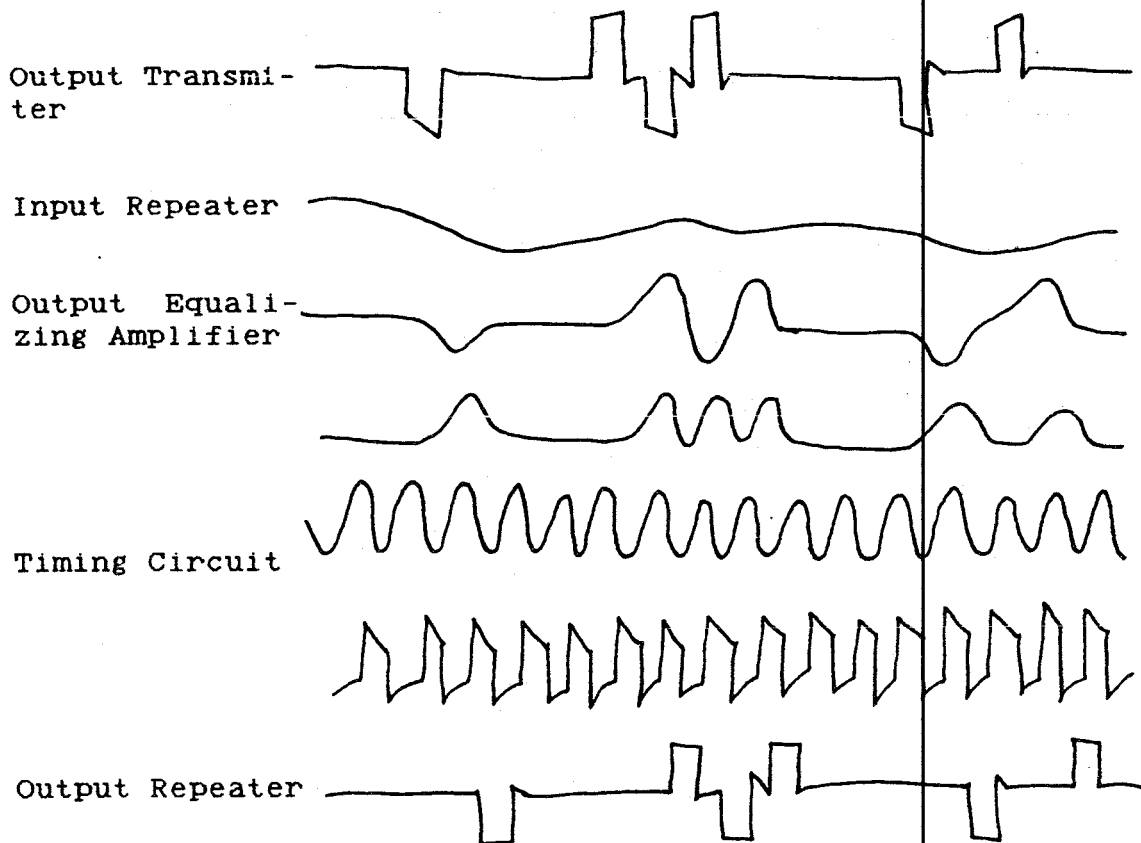
1. Reshaping, yaitu suatu proses penambahan daya pada sinyal yang telah lemah dan mengurangi distorsi.
2. Retiming, yaitu suatu proses penempatan kembali letak pulsa-pulsa pada posisi yang sebenarnya. Sinyal pulsa ini kemudian diperbaiki lagi, serta dideteksi

²⁷⁾ Herman Pudjiono, *op.cit*, hal 54.

²⁸⁾ *ibid* hal 53.

untuk mengetahui ada pulsa atau tidak. Clock extraction circuit, digunakan untuk mengatur bentuk pulsa sinyal yang dibentuk kembali dan tingginya sama seperti semula. Sedangkan deteksi dilakukan oleh treshold detektor.

3. Regeneration, yaitu proses penyempurnaan pulsa-pulsa dari treshold detektor yang menghasilkan deretan pulsa-pulsa seperti sinyal aslinya.

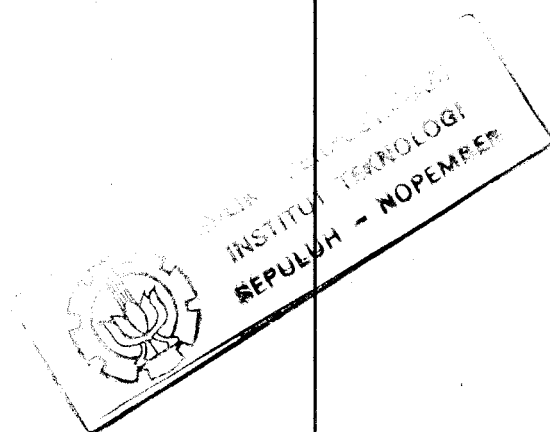


GAMBAR: 2. 26²⁹⁾

PROSES PEMBENTUKAN SINYAL PADA REPEATER

²⁹⁾ ibid hal 55.

Pada gambar 2.26 ditunjukkan tahapan proses pembentukan sinyal pada repeater. Jadi oleh repeater kode-kode saluran diregenerasikan secara identik dengan kode yang dipancarkan, bahkan setelah melewati beberapa regeneratif repeater yang cukup banyak, maka secara praktis sinyal kode akan identik dengan sinyal aslinya. Inilah yang merupakan alasan didapatkan kualitas transmisi yang tinggi dari sinyal PCM.



B A B III

KODE SALURAN SISTEM TELEFON DIGITAL

III.1. KODE SALURAN.

Sinyal-sinyal PCM yang dibentuk melalui beberapa proses merupakan sinyal yang berupa kode-kode biner dan merupakan sinyal baseband yaitu sinyal asli yang belum mengalami translasi frekuensi, sinyal ini dapat ditransmisikan melalui saluran yang dapat berupa kabel PCM berpasangan, kabel biasa, kabel koaksial maupun serat optik. Pada transmitter sinyal ini diformat lagi menjadi kode-kode saluran untuk ditransmisikan.

Kode saluran juga masih merupakan sinyal-sinyal biner yang berisi informasi dan pemilihan dari kode saluran yang dipergunakan tergantung pada penggunaannya. Dalam transmisi digital kode saluran diperlukan juga untuk menjaga sinkronisasi antara pengirim dan penerima disamping itu untuk clock recovery dari sirkuit. Pertimbangan lain pemilihan kode saluran yang dipakai adalah spektrum kode saluran dan bandwidth yang dapat dipergunakan khususnya pada frekuensi rendah, noise dan level interferensi, sinkronisasi waktu yang didapat, pengawasan penampilan kerja serta peralatan yang diperlukan.

III.1.1. KODE PULSA NONRETURN-TO-ZERO (NRZ)

Non Return-to-Zero merupakan sinyal yang mempunyai salah satu keadaan yang konstan dari dua tegangan selama selang waktu tertentu dari interval bit yang dilambangkan dengan T . Jika ada dua level tegangan yang dipakai yaitu 0 dan V , maka bentuk gelombang NRZ dikatakan unipolar, sebab hanya mempunyai satu polaritas dan tidak mempunyai komponen dc nol. Sinyal polar NRZ menggunakan dua polaritas yaitu $\pm V$ dan menghasilkan komponen dc nol.

Ada beberapa macam variasi dari NRZ yaitu:

1. NRZ Level atau NRZ(L).

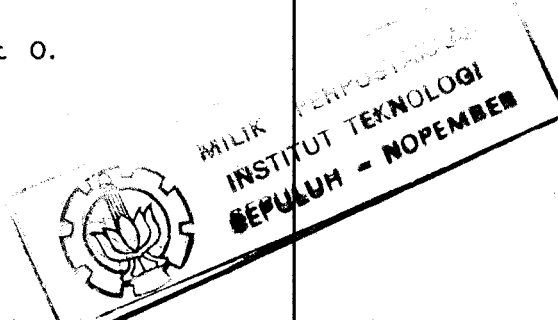
Pada kode ini level tegangan sinyalnya menunjukkan nilai bit. Untuk NRZ(L) nilai bit 0 dan 1 level tegangannya dapat terjadi sembarang tetapi biasanya 1 menunjukkan level tegangan yang lebih tinggi dan 0 menunjukkan level tegangan yang lebih rendah. Kode NRZ(L) ini biasanya merupakan model transmisi NRZ.

2. NRZ Mark atau NRZ(M).

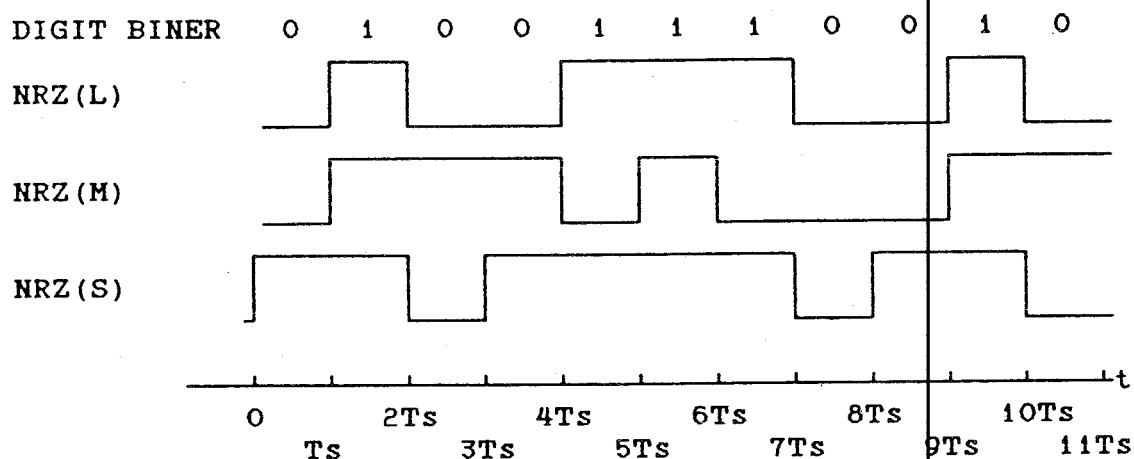
Pada kode ini perubahan level biasa menunjukkan nilai bit 1 dan tidak ada perubahan level menunjukkan nilai bit 0.

3. NRZ Space atau NRZ(S).

Kode ini formatnya sama dengan NRZ(M) tetapi level yang berubah menunjukkan nilai bit 0.



Bentuk gelombang kode biner dari NRZ(L), NRZ(M) dan NRZ(S) ditunjukkan pada gambar 3.1



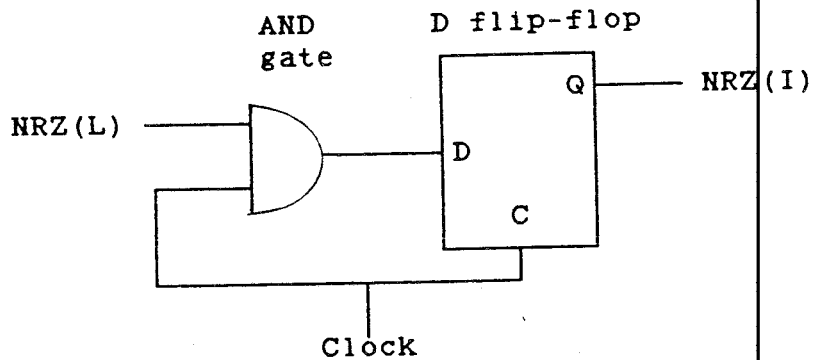
GAMBAR: 3.1³⁰⁾

BENTUK KODE PULSA NRZ

Bentuk gelombang NRZ(L) merupakan keluaran dari pada pengkode sistem PCM yang terdapat pada bank kanal. Format NRZ(M) dan NRZ(S) merupakan contoh yang umum dari kelas NRZ(I) atau disebut juga conditioned NRZ dan pada NRZ(I) ini pembalikan level digunakan untuk mengindikasikan salah satu dari digit biner. NRZ(I) dibangkitkan dari kode NRZ(L) dengan menggunakan gerbang logika AND serta D flip-flop, seperti ditunjukkan pada gambar 3.2. D flip-flop atau Delay flip-flop mempunyai satu terminal input data dan input clock. Sinyal clock menyebabkan sinyal

³⁰⁾ David. R Smith *op cit* hal 193.

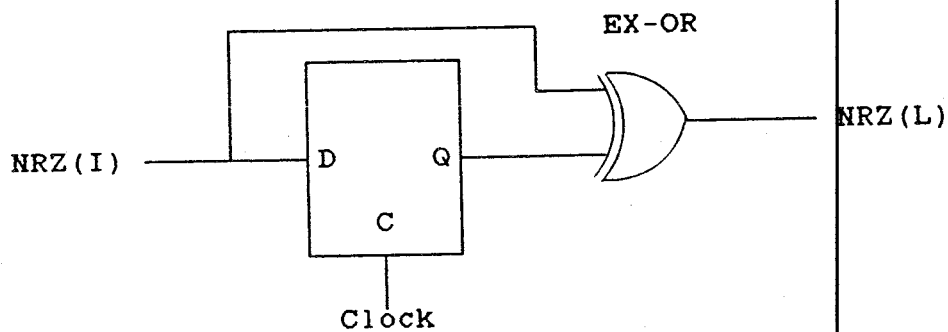
logika pada terminal input data ditransfer kedalam flip-flop ketika terjadi pulsa sinyal clock.



GAMBAR: 3. 2³¹⁾

PENKODEAN NRZ(I)

Pada dekodernya menggunakan D flip-flop dan gerbang logika EX-OR. Input dari gerbang logika EX-OR berupa kode pulsa biner NRZ(I) dan keluaran dari D flip-flop ditunjukkan seperti pada gambar 3. 3.

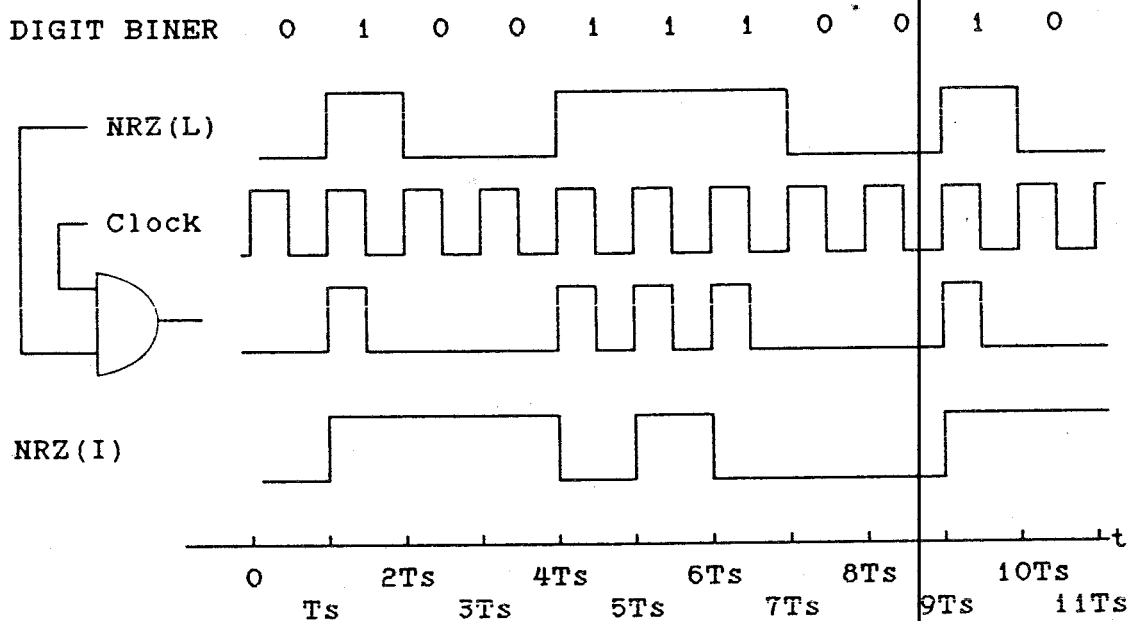


GAMBAR: 3. 3³²⁾

DEKODER NRZ(I)

31), 32) ibid hal 192.

Dibandingkan dengan NRZ(L), kode NRZ(I) mempunyai keuntungan dalam hal ketahanannya terhadap pembalikan polaritas dan hal ini dapat ditunjukkan pada bentuk gelombang pengkodean NRZ(I) pada gambar 3.4.



GAMBAR: 3.4³³⁾

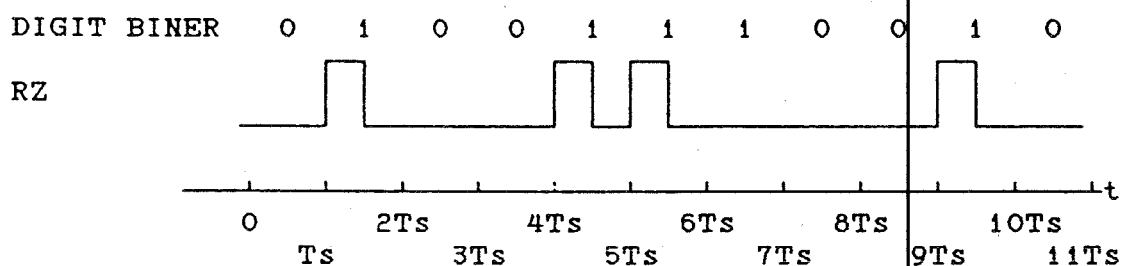
BENTUK GELOMBANG PENGKODEAN NRZ(I)

111.1.2. KODE PULSA RETURN-TO-ZERO (RZ).

Pada kode saluran Return to Zero (RZ) sinyal 1 direpresentasikan dengan setengah dari bit interval sinyal setelah sinyal kembali ke level referensi yaitu 0 dan sinyal 0 direpresentasikan dengan kondisi tidak ada pulsa

³³⁾ ibid hal 192.

dan tetap pada level referensi. Dengan demikian kode RZ merupakan sinyal unipolar yang apabila tidak ada pulsa akan dihasilkan deretan 0 yang panjang dan ini dapat menghasilkan komponen dc serta memberikan masalah pada clock recovery dari sirkuit. Bentuk kode RZ untuk sembarang deretan 0 dan 1 ditunjukkan pada gambar 3.5.

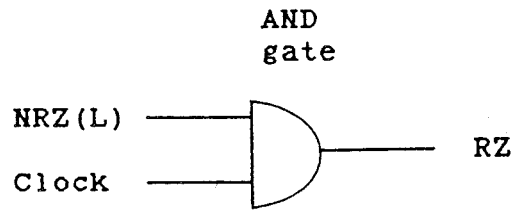


GAMBAR: 3.5³⁴⁾

BENTUK KODE RETURN TO ZERO

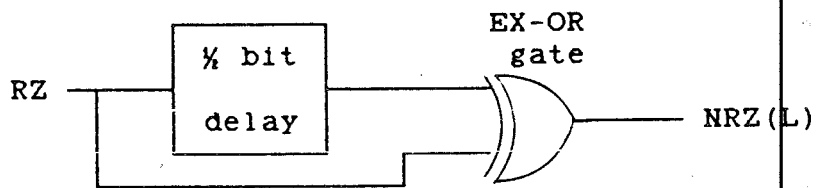
Pada pengkodean sinyal Return to Zero ini pembangkitannya dengan operasi logika AND dan inputnya sinyal NRZ(L) dengan sinyal clock yang beroperasi pada kecepatan sistem bit. Pada proses dekodernya sinyal kode RZ diperlambat dulu selama $1/2$ bit interval selanjutnya dengan operasi logika EX-OR sinyal kode RZ yang telah diperlambat dan sinyal kode RZ diubah menjadi NRZ(L). Gambar 3.6 menunjukkan pembangkitan sinyal RZ sedangkan dekodernya pada gambar 3.7. Pada gambar 3.8 ditunjukkan bentuk gelombang dari sistem pengkodean tersebut.

³⁴⁾ *ibid* hal 193.



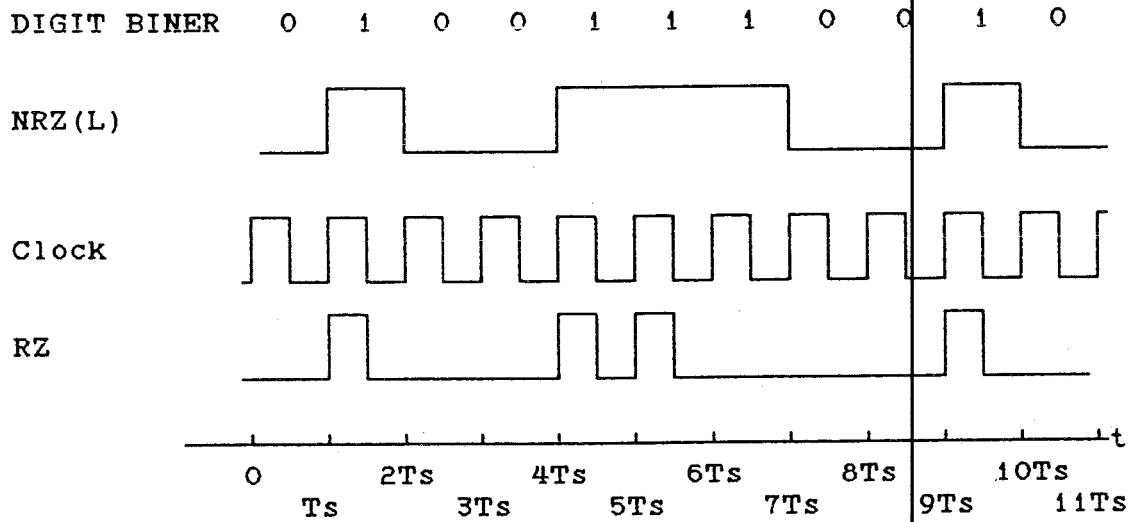
GAMBAR: 3. 6³⁵⁾

PENKODEAN RZ



GAMBAR: 3. 7³⁶⁾

DEKODER RZ



GAMBAR: 3. 8³⁷⁾

BENTUK GELOMBANG PENKODEAN RZ

35), 36), 37) ibid hal 193.

III.1.3. KODE PULSA BIPHASE.

Biphase atau diphase adalah metode dengan dua level pengkodean dimana tiap 1 bit interval terjadi perubahan phase. Ada beberapa macam Kode biphase:

1. Biphase level (Split Phase atau Manchester Code).

Dalam kode ini 1 direpresentasikan dengan deretan pulsa (+, -) sedangkan 0 direpresentasikan dengan deretan pulsa (-, +) dan kedua macam pulsa tersebut panjangnya adalah setengah dari bit interval.

2. Biphase Mark.

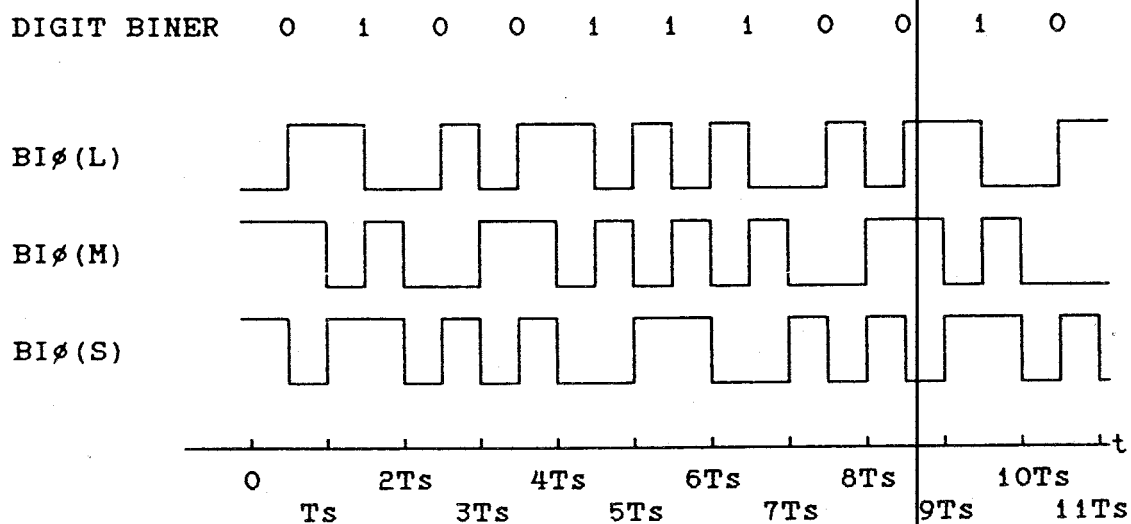
Pada kode ini perubahan terjadi pada setiap awal bit interval dan 1 direpresentasikan dengan perubahan level sinyal pada setengah periode kemudian sedangkan 0 direpresentasikan dengan tidak ada perubahan.

3. Biphase Space.

Perubahan terjadi pada setiap awal periode simbol dan 1 direpresentasikan dengan tidak ada perubahan sedangkan 0 direpresentasikan dengan perubahan level sinyal pada setengah periode kemudian.

Jika dianggap 1 ditransmisikan +V dan 0 sebagai -V maka bentuk sinyal biphase yang dihasilkan untuk sembarang deret data biner seperti ditunjukkan pada gambar 3.9. Sinyal biphase ini memperlihatkan perubahan kerapatan yang

lebih besar bila dibandingkan dengan NRZ(L), dengan demikian memberikan perbaikan pada clock recovery pada penerima dan merupakan keuntungan yang khusus dari biphas.

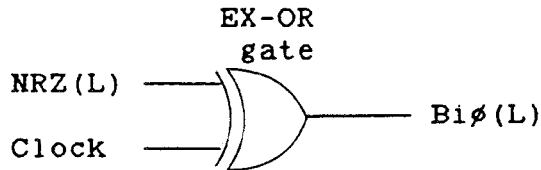


GAMBAR: 3.9³⁸⁾

BENTUK GELOMBANG BIPHASE

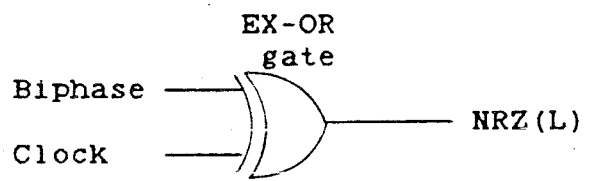
Proses pembangkitan maupun dekodernya menggunakan operasi logika yang sama yaitu EX-OR. Pada pembangkitan input dari gerbang logika EX-OR berupa sinyal kode pulsa NRZ(L) dan sinyal clock, seperti pada gambar 3.10. Sedang pada dekoder inputnya berupa sinyal kode pulsa biphas dan sinyal clock outputnya diperoleh NRZ(L), seperti ditunjukkan pada gambar 3.11. Bentuk gelombang proses pengkodean biphas ditunjukkan pada gambar 3.12.

³⁸⁾ Tugal Dogan/Osman, Data Transmission, Mc Graw Hill. New York 1982 hal 87.



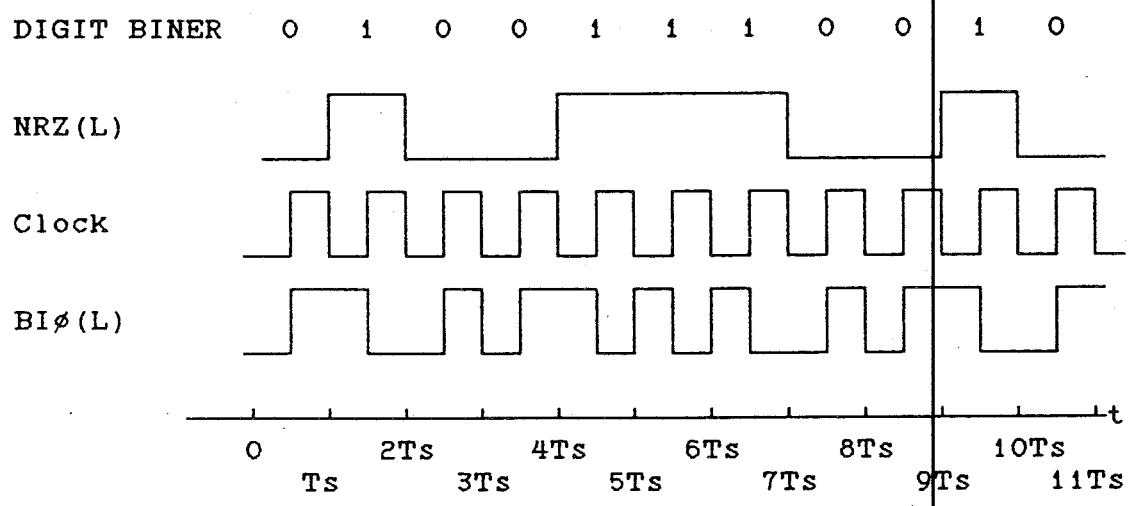
GAMBAR: 3.10³⁹⁾

PENKODEAN BIPHASE



GAMBAR: 3.11⁴⁰⁾

DEKODER BIPHASE

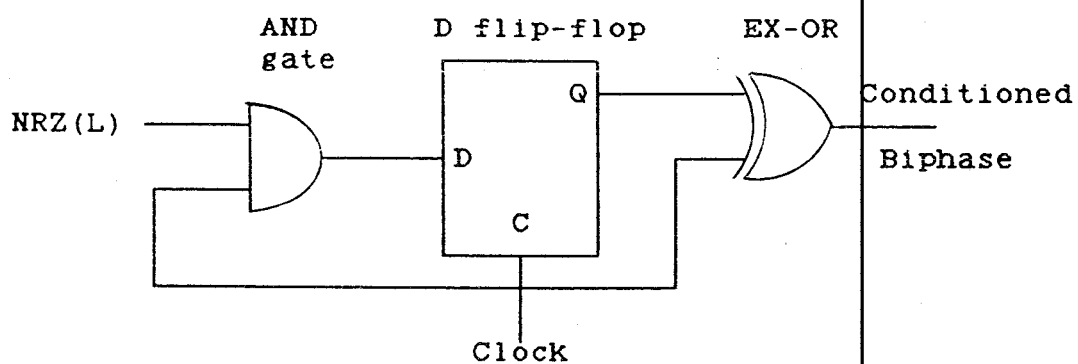


GAMBAR: 3.12⁴¹⁾

BENTUK GELOMBANG PENKODEAN BIPHASE

39), 40), 41) David R Smith, op cit hal 194.

Kode pulsa biphase yang dibangkitkan dari sinyal NRZ(I) dikenal dengan conditioned diphase.⁴²⁾ Kode ini tahan terhadap pembalikan polaritas dan perubahan kerapatan. Untuk input NRZ(L) harus diubah terlebih dahulu kedalam bentuk NRZ(I) kemudian operasi logika EX-OR dengan input lainnya sinyal pulsa clock didapatkan conditioned biphase. Proses pembangkitan conditioned diphase ditunjukkan pada gambar 3.13.



GAMBAR: 3.13⁴²⁾

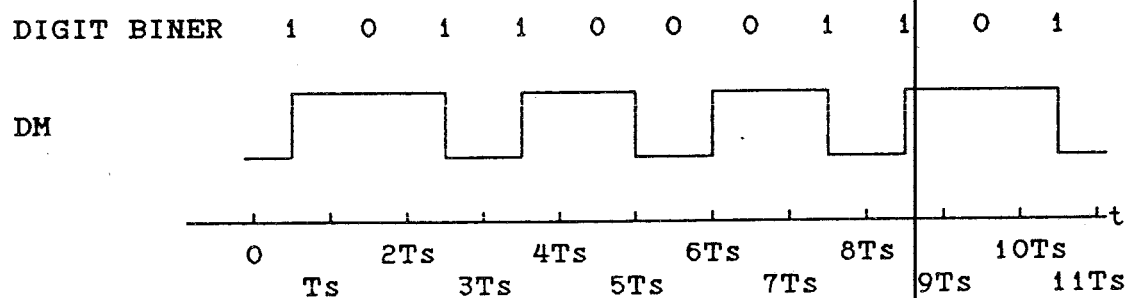
PENKODEAN CONDITIONED BIPHASE

Kode biphase ini dalam aplikasinya banyak dipergunakan dalam perekaman digital magnetic terutama peralatan disk memory. Keuntungan lain dari kode ini adalah mempunyai bandwidth compression dan tidak mempunyai komponen dc. Kode biphase banyak mengalami kesulitan dalam deteksi kesalahan dan ini merupakan salah satu kerugian dari kode biphase ini.

⁴²⁾ ibid hal 194.

III.1.3.1. KODE PULSA DELAY MODULATION (MILLER CODE).

Delay Modulation merupakan salah satu type pengkodean split phase disini nilai logika 1 direpresentasikan dengan perubahan sinyal di tengah-tengah periode dari bit interval. Sedangkan nilai logika 0 direpresentasikan dengan perubahan level sinyal pada akhir bit interval jika nilai logika 0 tersebut diikuti dengan nilai logika 0 yang lain. Pada waktu nilai logika 0 kemudian diikuti dengan nilai logika 1, tidak ada perubahan level sinyal pada akhir bit interval yang pertama yaitu 0. Pada gambar 3.14 ditunjukkan bentuk kode Delay Modulation.

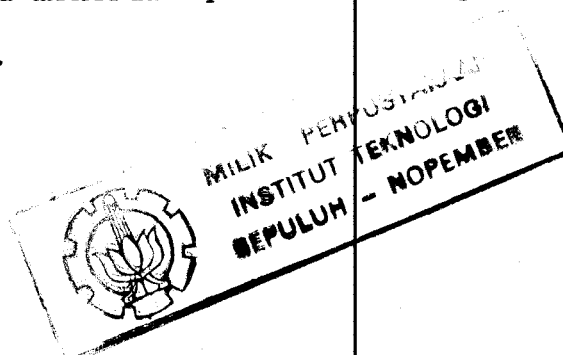


GAMBAR: 3.14⁴³⁾

BENTUK KODE DELAY MODULATION

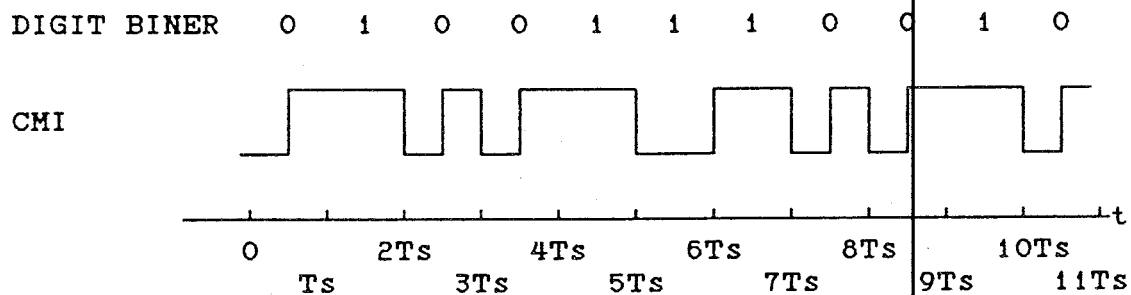
DM dalam penggunaannya banyak dipakai sebagai pilihan yang baik untuk perekaman digital magnetic. Hal ini dikarenakan kode DM mampu menerima penambahan high bit packing density secara cepat.

⁴³⁾ Dogan/Osman Tugal op cit hal 87.



III.1.3.2. KODE PULSA CODE MARK INVERSION.

Code Mark Inversion merupakan pengkodean dua level yang lain termasuk dalam kategori pengkodean split phase. Dalam CMI bit 1 dikodekan seperti level untuk bit penuh pada selang waktu T , dimana level berganti-ganti tiap terjadi 1. Untuk bit 0 dikodekan dengan perubahan phase pada setengah periode atau $T/2$, setiap level untuk $T/2$ menggunakan hubungan phase yang sama untuk tiap bit yang bernilai logika 0. Contoh dari CMI seperti ditunjukkan pada gambar 3.15.



GAMBAR: 3.15⁴⁴⁾

BENTUK KODE PULSA CMI

Dari contoh ini menunjukkan bahwa CMI dapat memperbaiki kerapatan transisi dari NRZ serta tidak mempunyai komponen energi dc. Kode CMI ini digunakan khusus untuk kode sinyal multiplek order keempat dengan kecepatan bit 139.264 Mb/s.

⁴⁴⁾ David R Smith *op cit* hal 190.

III.1.4.1. KODE BIPOLAR ATAU ALTERNATE MARK INVERSION.

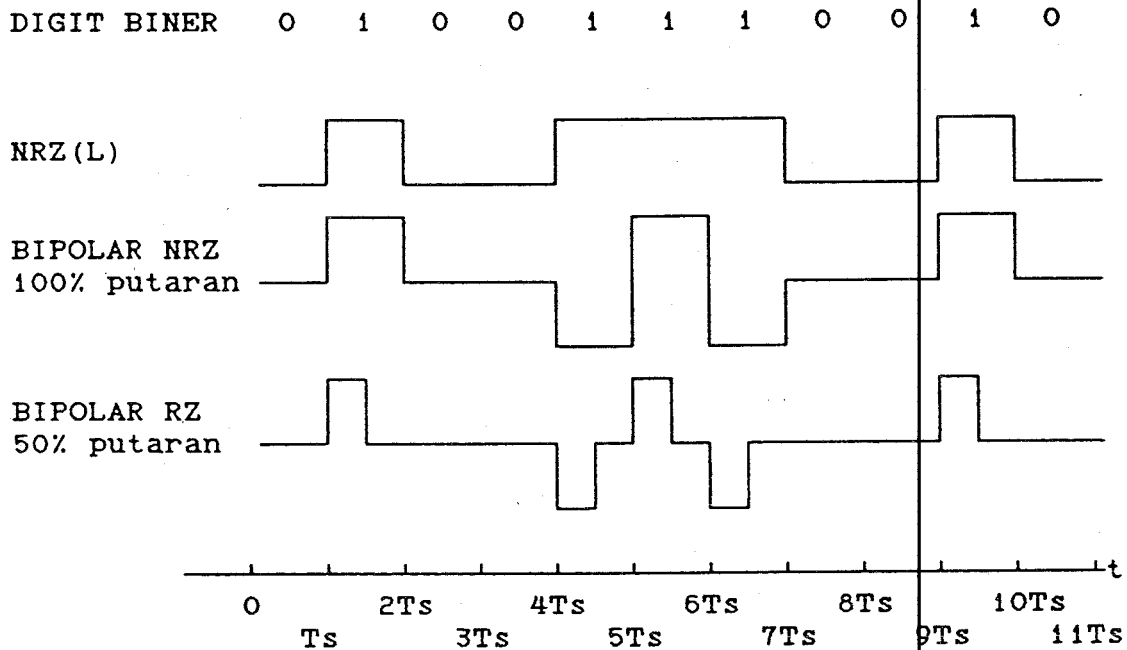
Dalam bipolar atau alternate mark inversion, data biner dikodekan dengan tiga level tegangan yaitu 0 dan $\pm V$. Nilai logika 0 selalu mempunyai level tegangan 0, sedangkan yang bernilai logika 1 mempunyai level tegangan $+V$ atau $-V$, dimana polaritasnya berganti-ganti setiap terdapat sinyal yang bernilai logika 1. Tabel 3.1 menunjukkan aturan logika dari pengkodean bipolar.

TABEL: 3.1

TABEL LOGIKA BIPOLAR

BINER	+ MODE	- MODE
1	-	+
0	0	0

Kode pulsa bipolar tidak menghasilkan komponen dc, hal ini dikarenakan bit yang bernilai logika 0 dikode dengan level tegangan 0 sedangkan bit bernilai logika 1 dikode dengan level tegangan positive atau negatif secara berganti-ganti, jadi tegangan rata-rata adalah nol sehingga dapat mengeliminasi komponen dc pada spektrum sinyal. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.16 bipolar direpresentasikan dengan NRZ satu periode (100% putaran) atau RZ (50% putaran).



GAMBAR: 3.16⁴⁵⁾

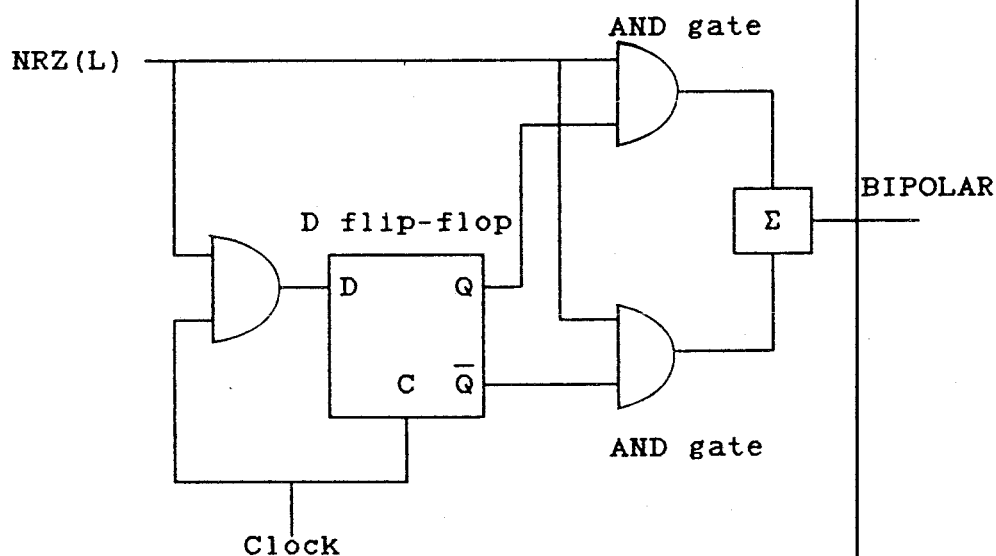
BENTUK KODE BIPOLAR

Pemakaian kode saluran bipolar mempunyai banyak kelebihan terutama penampilan kerja clock recovery dimana setiap perubahan data biner 1 akan memperbaiki clock recovery dari sirkuit. Deteksi kesalahan dilakukan dengan cara mendeteksi polaritas tegangan bit 1 yang berganti-ganti. Jika amplitudo tegangan positif terletak berderet-deret diantara amplitudo tegangan negatif maka aturan pengkodean bipolar telah dilanggar dan menunjukkan bahwa kesalahan dalam transmisi data biner telah terjadi. Karena

⁴⁵⁾ ibid hal 195.

itu pada repeater atau receiver terdapat pengawasan data sehingga pentransmisian data dapat dikoreksi jika terjadi kesalahan.

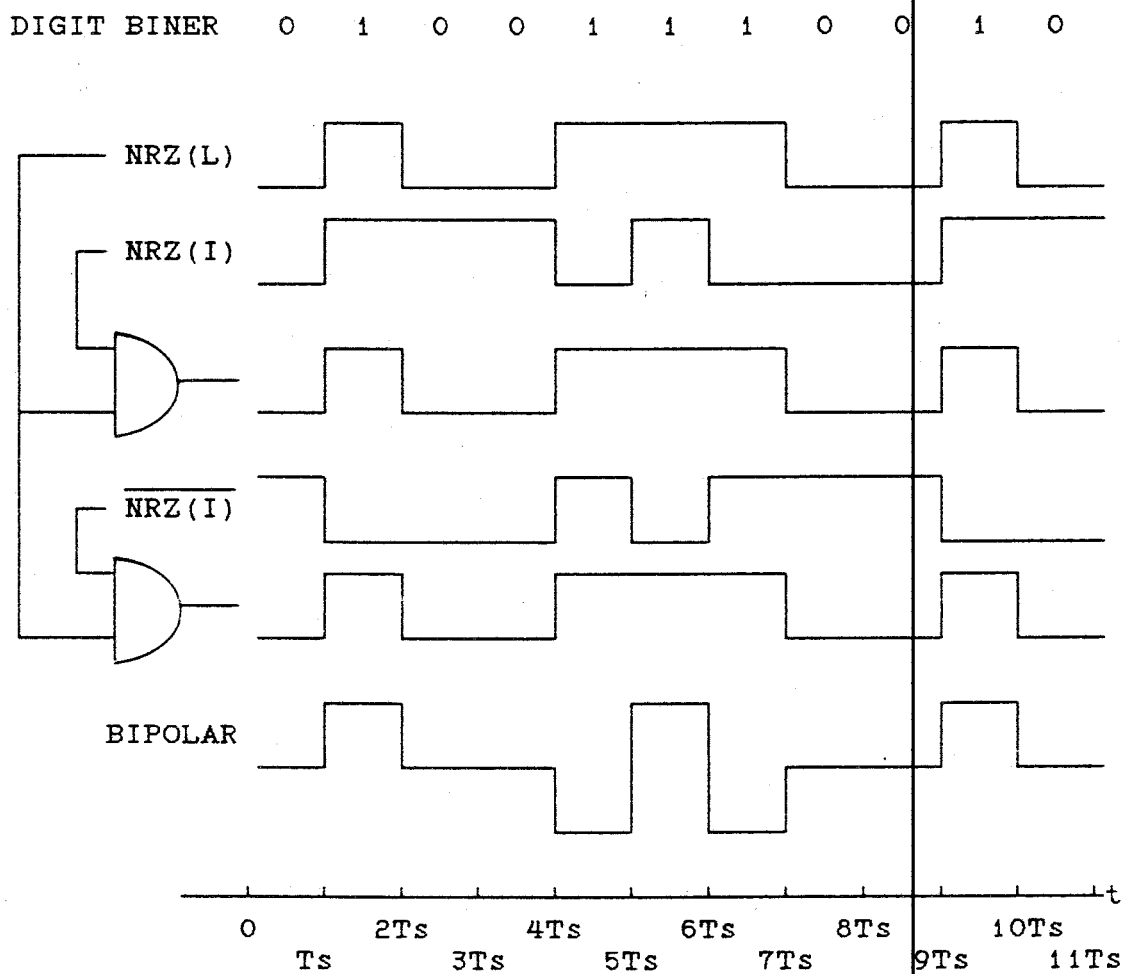
Gambar 3.17 menunjukkan blok diagram pengkodean sinyal bipolar. Sinyal ini dibangkitkan dari NRZ(L) dengan menggunakan D flip-flop yang berfungsi sebagai 1 bit counter dan dikontrol dengan AND gate untuk memaksa berganti-ganti polaritas dari bit 1. Pada dekodernya untuk mendapatkan kembali sinyal NRZ(L) cukup dengan penyearah saja. Sedangkan pada gambar 3.18 menunjukkan karakteristik dari pada pengkodean sinyal bipolar.



GAMBAR: 3.17⁴⁶⁾

PENKODEAN SINYAL BIPOLAR

⁴⁶⁾ ibid hal 196.

GAMBAR: 3. 18⁴⁷⁾

KARAKTERISTIK KODE BIPOLAR

Meskipun clock recovery dalam sirkuit penampilan data bipolar diperbaiki dari pada NRZ, deret nol panjang yang ditransmisikan sehingga tidak ada perubahan dalam level tegangan tetap merupakan penyebab kesulitan dalam clock recovery.

⁴⁷⁾ ibid hal 196.

Untuk sistem T1 carrier pada repeater atau receiver deret panjang maksimum dari bit yang bernilai logika 0 yang diperbolehkan adalah 14. sehingga dalam peralatan multiplek data, bagaimanapun juga pembatasan dalam kode biner adalah tidak praktis. Untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan cara meletakkan kembali deret 0 dan dengan rangkaian khusus yang berfungsi melakukan pelanggaran aturan pengkodean bipolar yang dapat menghasilkan penambahan transisi data dalam hal ini polaritas level tegangan dan dapat memperbaiki clock recovery dari sirkuit sehingga dapat mengurangi kesalahan data yang diterima. Pengisian deret ini mempunyai aturan yang khusus dan pada penerima diubah seperti deret 0 asli.

III.1.4.2. BIPOLAR N-ZERO SUBSTITUTION (BNZS).

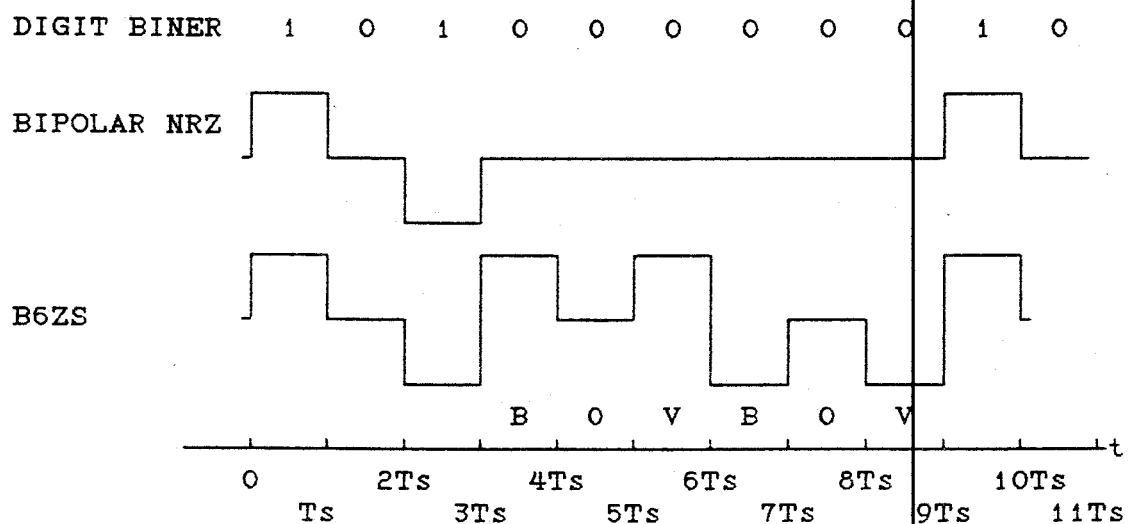
Salah satu cara untuk mengatasi deret 0 yang panjang pada kode bipolar adalah dengan Bipolar N-Zero Substitution (BNZS) dimana sebanyak N bit 0 diganti dengan N-bit deret khusus yang berisi pelanggaran aturan pengkodean bipolar. Seperti contoh kode B6ZS, pada kode ini sebanyak 6 bit 0 yang berderet diganti atau disubstitusi dengan deret BOVB0V atau deret OVBOVB, dimana B merepresentasikan sinyal pulsa normal bipolar dengan menyesuaikan aturan perubahan polaritas. Sedangkan V merepresentasikan

pelanggaran aturan bipolar dan polaritasnya sama dengan B pada tiga bit yang pertama. Untuk tiga bit yang kedua polaritasnya berlawanan dengan tiga bit pertama. 0 merepresentasikan tidak ada pulsa. Aturan dari pengkodean B6ZS ini ditunjukkan seperti pada tabel 3.2 sedangkan contoh dari kode ini ditunjukkan seperti pada gambar 3.19.

TABEL: 3.2⁴⁸⁾

ATURAN SUBSTITUSI B6ZS

POLARITAS PULSA SEBELUM 6 NOL DISUBSTITUSI	SUBSTITUSI
-	0--+0+-
+	0+-0-+



GAMBAR: 3.19

BENTUK GELOMBANG B6ZS

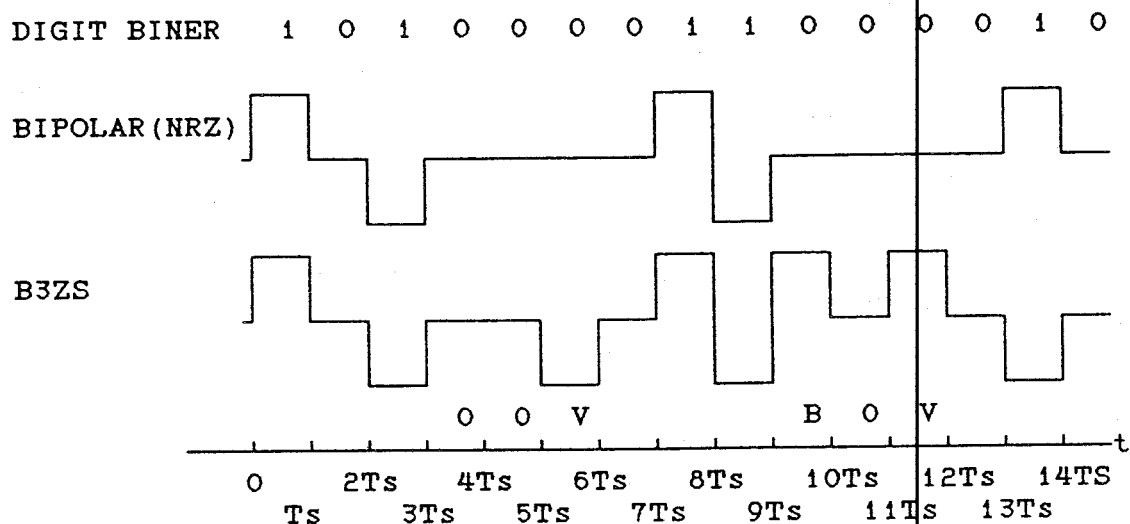
⁴⁸⁾ John Bellamy *op cit* hal 178.

Disamping kode B6ZS digunakan juga aturan pengkodean B3ZS dalam hal ini hanya tiga bit 0 yang berderet diganti dengan deret 00V atau B0V dan aturan pengkodeannya ditunjukkan pada tabel 3.3 sedangkan contohnya untuk sembarang deret biner ditunjukkan pada gambar 3.20.

TABEL: 3.3⁴⁹⁾

SUBSTITUSI BIPOLAR THREE ZERO (B3ZS)

PULSA DATA TERAKHIR	PASANGAN TERAKHIR YANG DIGUNAKAN	
	00+ ATAU +0+	00- ATAU -0-
+	-0-	00+
-	00-	+0+



GAMBAR: 3.20

BENTUK GELOMBANG KODE B3ZS

⁴⁹⁾ ibid hal 178.

Kode B6ZS merupakan kode untuk standart interface AT and T yaitu sistem T2 dan oleh CCITT telah direkomendasikan untuk multiplek interface order kedua dengan kecepatan bit 6.312 Mb/s. Sedangkan untuk Kode B3ZS khusus digunakan untuk kecepatan bit 44.736 Mb/s yang merupakan standart kecepatan yang digunakan negara-negara Amerika Utara.

III.1.4.2. HIGH DENSITY BIPOLAR N (HDBN).

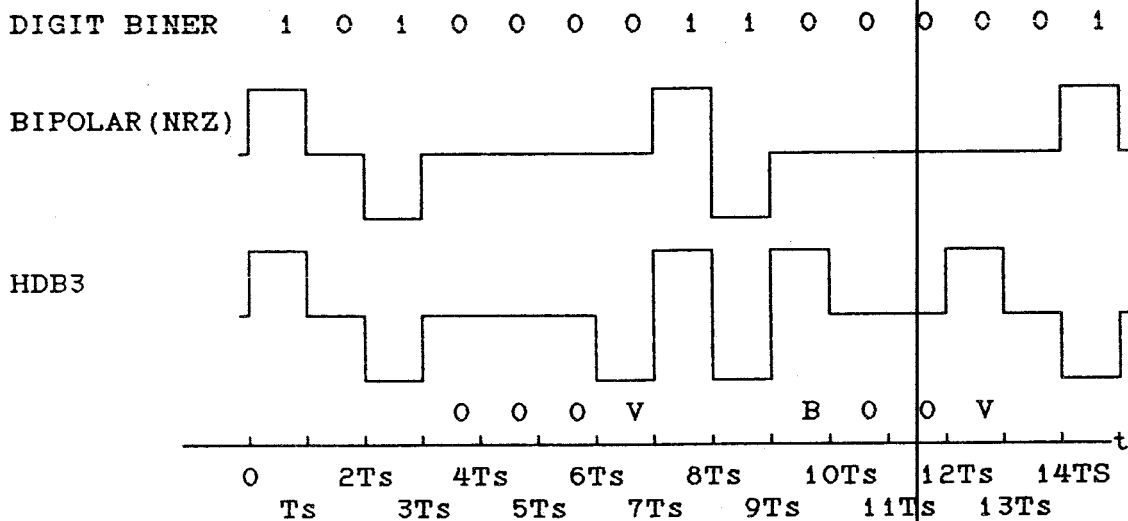
High Density Bipolar N atau HDBN merupakan salah satu bentuk kode bipolar lain yang menghilangkan deretan pulsa 0 yang berturut-turut, dengan melanggar aturan pengkodean bipolar. Banyaknya deret bit 0 yang diperbolehkan terbatas dari deret bit 0 sampai bit yang ke N dengan mengganti urutan 0 yang ke (N + 1) dengan melanggar aturan pengkodean bipolar. Pulsa B yang merupakan pulsa bipolar normal terletak pada urutan yang pertama sedangkan polaritas pulsa V selalu berganti-ganti sehingga terjadinya komponen DC dapat dihindari. Ada dua kemungkinan sebanyak N+1 bit yang dipakai untuk menyatakan pelanggaran aturan bipolar yaitu B00...V atau 000...V, posisi bit terakhir selalu merupakan pelanggaran aturan bipolar. Sedangkan posisi semua bit yang lain adalah 0. Aturan B00...V dipakai apabila mempunyai kode 1 yang jumlahnya genap diantara dua pulsa V. Polaritas aturan khusus ini berganti-ganti

dua pulsa V. Polaritas aturan khusus ini berganti-ganti seperti ketentuan bipolar. Pada tabel 3.4 merupakan contoh aturan pengkodean HDBN dengan N sebanyak 3 dan gambar 3.21 merupakan bentuk gelombang untuk sembarang deret biner kode HDB3.

TABEL: 3.4⁵⁰⁾

ATURAN SUBSTITUSI HDB3

POLARITAS PULSA TERAKHIR	NOMOR PULSA BIPOLAR SUBSTITUSI TERAKHIR	
	GANJIL	GENAP
-	000-	+00+
+	000+	-00-



GAMBAR: 3.21

KODE HDB3

⁵⁰⁾ ibid hal 179.

Penggunaan Kode HDB yang paling umum digunakan adalah HDB2 yang identik dengan B3ZS dan HDB3 digunakan untuk kode multiplek dengan kecepatan bit 2.048 Mb/s, 8.448 Mb/s dan 34.368 Mb/s.

111.2. POWER SPECTRAL DENSITY.

Power spectral density dari penampilan data biner yaitu kode saluran yang berupa sinyal baseband dan mempunyai dua karakteristik transmisi yang penting yaitu bandwidth yang diperlukan serta bentuk spektrumnya. Bandwidth dalam suatu kanal transmisi dapat digambarkan dengan frekuensi responnya yang dapat menunjukkan batas atas dan bawah dari frekuensi sinyal yang disalurkan ke sebuah kanal. Bentuk spektrum dapat menolong mengurangi interferensi dari sinyal lain atau noise.

Pertimbangan-pertimbangan lebar pita merupakan suatu elemen dalam penentuan penampilan kerja suatu sistem komunikasi, disamping itu untuk mengetahui persyaratan-persyaratan lebar pita dari saluran atau medium transmisi yang dilalui sinyal-sinyal yang ditransmisi agar sinyal-sinyal yang sampai di penerima relatif tak terdistorsi.

Power Spectral density dapat diturunkan dari fungsi auto korelasi untuk proses random $x(t)$ dan dapat ditulis

dalam persamaan: 51)

$$R_x(\tau) = E \left[x(t) x(t+\tau) \right] \quad (3 - 1)$$

dimana: $E[]$ merupakan harga ekspektasi atau rata-rata.

PSD dapat digambarkan dengan distribusi daya lawan frekuensi dan ini dapat diperoleh dengan cara transformasi Fourier dari fungsi auto korelasi.

$$\begin{aligned} S_x(f) &= F \left[R_x(\tau) \right] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \end{aligned} \quad (3 - 2)$$

Dalam beberapa persoalan $S_x(f)$ lebih mudah didapatkan secara langsung dari sinyal transformasi Fourier. Dianggap sinyal $x(t)$ menjadi nol diluar range $-T/2$ sampai $T/2$ dan sinyal dalam frekuensi domain yang sesuai diberikan oleh persamaan: 52)

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \end{aligned} \quad (3 - 3)$$

51) David R Smith, op cit hal 198.

52) ibid hal 198.

Menurut teorema Parseval daya rata-rata untuk beban 1Ω pada interval waktu $-T/2$ sampai $T/2$ diberikan oleh persamaan: ⁵³⁾

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |X(f)|^2 df
 \end{aligned}
 \tag{3 - 4}$$

Dari definisi power spectral density daya rata-rata dapat diekspresikan dengan:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f) df
 \tag{3 - 5}$$

dimana: S_x adalah kerapatan daya dalam satuan Watt/Hz.

P dalam satuan Watt.

Dari persamaan (3-4) dan (3-5) didapatkan:

$$S_x(f) = \frac{|X(f)|^2}{T}
 \tag{3 - 6}$$

Disini dianggap sumber digit biner untuk nilai logika 0 dan 1 mempunyai probabilitas yang sama, dimana tiap bit interval adalah T .

⁵³⁾ ibid hal 198.

111.2.1. PSD NONRETURN-TO-ZERO.

Transmisi NRZ polar dapat diasumsikan oleh dua kemungkinan sinyal level yaitu V dan $-V$ dan sinyal level tersebut independen dari bit interval yang lain, dan munculnya sinyal V atau $-V$ terjadi secara acak dan merupakan proses random. Fungsi auto korelasi dari NRZ diberikan oleh persamaan :⁵⁴⁾

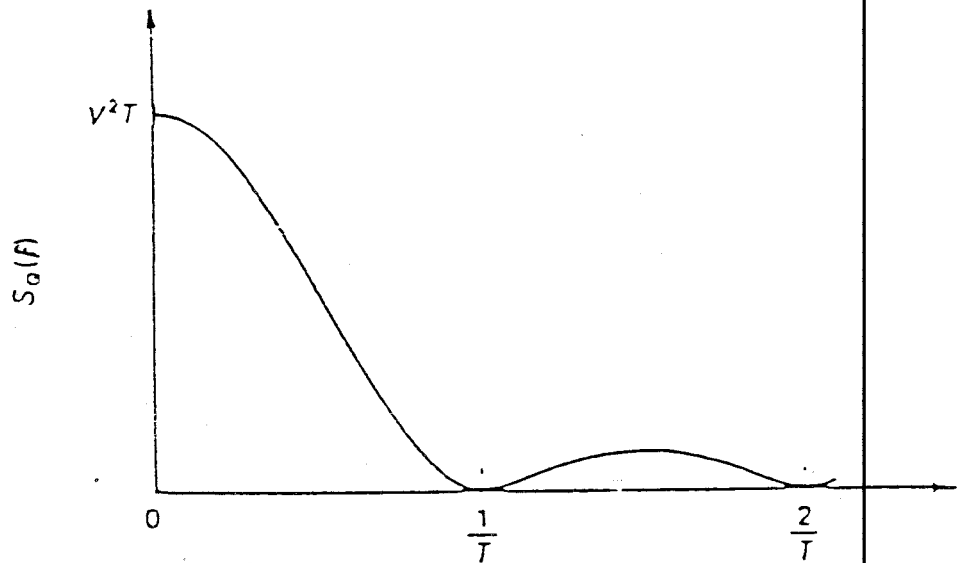
$$R_Q(\tau) = \begin{cases} V^2(1 - |\tau|/T) & |\tau| < T \\ 0 & |\tau| > T \end{cases} \quad (3 - 7)$$

Power spectral density merupakan distribusi daya dengan frekuensi dan merupakan transformasi Fourier dari fungsi auto korelasi. Transformasi Fourier dari persamaan 3-7 didapatkan:⁵⁵⁾

$$S_Q(f) = V^2 T \left(\frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right)^2 \quad (3 - 8)$$

Grafik dari persamaan (3-8) ditunjukkan oleh gambar 3.16. Dari gambar tersebut dapat diketahui NRZ mempunyai lebih banyak energi pada frekuensi yang rendah dan biasanya menjadikan pilihan yang jelek untuk transmisi sinyal baseband dengan adanya interferensi sinyal dc.

^{54), 55)} ibid hal 199.

GAMBAR: 3.22⁵⁶⁾

PSD DARI NRZ

111.2.2. PSD RETURN-TO-ZERO.

Dalam format pengkodean sinyal RZ bentuk sinyal ditunjukkan oleh:

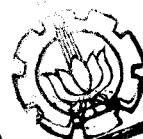
$$f_1(t) = \begin{cases} V & 0 < t \leq T/2 \\ 0 & T/2 < t \leq T \end{cases}$$

(3 - 9)

$$f_2(t) = 0$$

PSD dari sinyal RZ dapat diperoleh dengan cara pertama-tama sinyal RZ dibagi dalam dua komponen. Komponen pertama adalah pulsa periodik berurutan dari amplitudo $V/2$ dan

⁵⁶⁾ ibid hal 200.



lamanya $T/2$ dan didefinisikan oleh :

$$p_1(t) = p_2(t) = \begin{cases} v/2 & 0 < t \leq T/2 \\ 0 & T/2 < t \leq T \end{cases} \quad (3 - 10)$$

Komponen kedua adalah sebuah pulsa random berurutan yang saling berhubungan dan didefinisikan oleh :

$$r_1(t) = \begin{cases} v/2 & 0 < t \leq T/2 \\ 0 & T/2 < t \leq T \end{cases} \quad (3 - 11)$$

$$r_2(t) = \begin{cases} -v/2 & 0 < t \leq T/2 \\ 0 & T/2 < t \leq T \end{cases}$$

dan sekarang :

$$\begin{aligned} f_1(t) &= p_1(t) + r_1(t) \\ f_2(t) &= p_2(t) + r_2(t) \end{aligned} \quad (3 - 12)$$

Komponen random dipakai dengan cara yang sama dalam Soal NRZ dan menghasilkan PSD :⁵⁷⁾

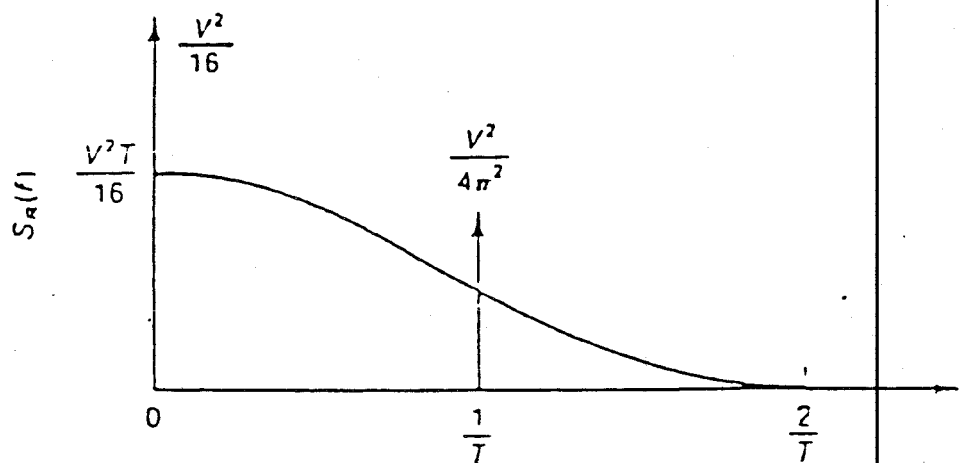
$$S_r(f) = v^2 \left[\frac{\sin(\pi f T/2)}{\pi f T/2} \right]^2 \quad (3 - 13)$$

Komponen periodik dievaluasi oleh analisa Fourier seri dan diperoleh :⁵⁸⁾

^{57), 58)} ibid hal 201.

$$S_{R}(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{v^2}{16} \left[\frac{\sin(n\pi/2)}{n\pi/2} \right]^2 \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) \quad (3-14)$$

Power Spectral Density untuk kode pulsa RZ ini didapatkan dari penjumlahan persamaan (3-13) dan (3-14) dan bentuk grafiknya ditunjukkan pada gambar 3.23. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa untuk kerapatan daya nol dari kode pulsa RZ terjadi pada frekuensi $2/T$ sedangkan pada kode pulsa NRZ terjadi pada frekuensi $1/T$ hal ini menunjukkan besarnya lebar bidang RZ dua kali dari lebar bidang kode pulsa NRZ.



GAMBAR: 3.23⁵⁹⁾

PSD DARI SINYAL RZ

⁵⁹⁾ ibid hal 200.

III.2.3. PSD BIPHASE.

Dalam format biphas bentuk sinyal diberikan oleh persamaan :

$$f_1(t) = \begin{cases} V & 0 < t < T/2 \\ -V & T/2 < t < T \end{cases} \quad (3 - 15)$$

$$f_2(t) = -f_1(t)$$

PSD didapatkan dari persamaan (3-6) oleh transformasi Fourier untuk sinyal dua pulsa mengikuti persamaan:⁶⁰⁾

$$F_1(f) = j \frac{2V}{\pi f} \sin^2 \left(\frac{\pi f T}{2} \right) \quad (3 - 16)$$

$$F_2(f) = -F_1(f)$$

PSD dari persamaan (4-16) tergantung pada perbedaan dari Transformasi Fourier dari dua pulsa, dan dapat ditulis dalam persamaan:⁶¹⁾

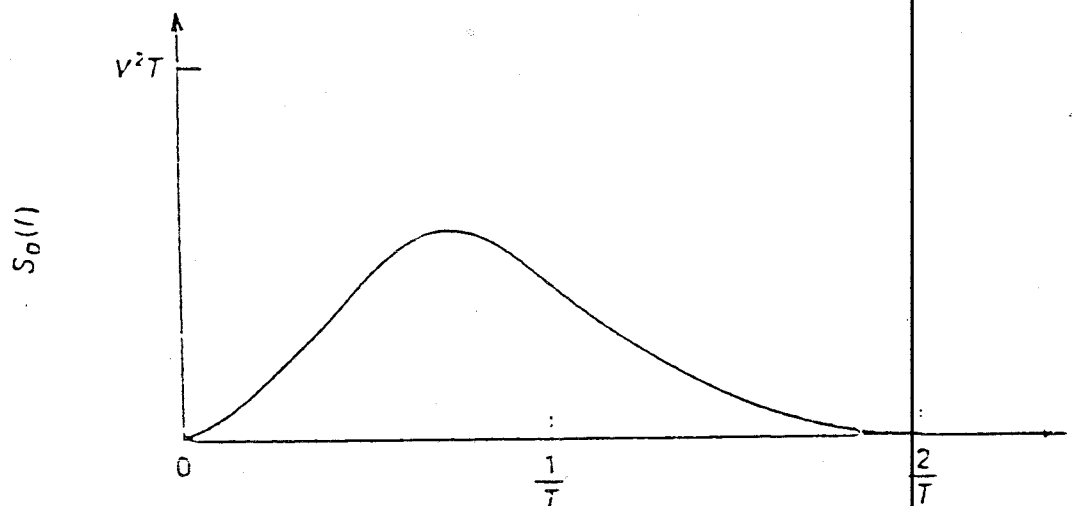
$$S_D(f) = \frac{1}{T} \left[F_1(f) - F_2(f) \right]^2 \quad (3 - 17)$$

atau dari persamaan (3-16) didapatkan:⁶²⁾

$$S_D(f) = V^2 T \frac{\sin^4 \left(\pi f T / 2 \right)}{(\pi f T / 2)^2} \quad (3 - 18)$$

^{60), 61), 62)} ibid hal 201.

Grafik PSD dari kode pulsa biphasse ini ditunjukkan seperti pada gambar 3.24 dan mempunyai daya yang kecil pada frekuensi rendah dan daya nol pada komponen DC. Kerapatan daya maksimum didapat pada frekuensi $0,743/T$ dan daya nol pertama terjadi pada $2/T$. Jadi lebar bidang sama sama seperti pada kode pulsa RZ.



GAMBAR: 3.24⁶³⁾

PSD BIPHASE

III.2.4. PSD BIPOLAR.

Pengkodean dalam format bipolar menggunakan 3 level amplitudo yaitu V , 0 , dan $-V$. Bentuk dari sinyal Bipolar diberikan oleh persamaan:

⁶³⁾ ibid hal 202.

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & \text{selanjutnya} \\ v & 0 < t \leq \alpha T \\ 0 & \alpha T < t \leq T \end{cases} \quad \text{pertama} \quad (3 - 19)$$

$$f_2(t) = \begin{cases} 0 & \text{pertama} \\ -v & 0 < t \leq \alpha T \\ 0 & \alpha T < t \leq T \end{cases} \quad \text{selanjutnya}$$

dimana: $\alpha = 1$ kode bipolar didapat dari sinyal NRZ.

$\alpha = 1/2$ kode didapat dari sinyal RZ.

PSD dari sinyal Bipolar ini merupakan biner kembar yang sama yang dapat dibangkitkan dari sinyal NRZ dengan memperlambat selama αT mengambilnya dari sinyal asli dan dibagi dua untuk melengkapi skala amplitudo yang sebenarnya didapatkan: ⁶⁴⁾

$$B(t) = \frac{Q(t) - Q(t - \alpha T)}{2} \quad (3 - 20)$$

Dengan transformasi Fourier dua sisi dari persamaan (3-20) didapatkan: ⁶⁵⁾

$$B(f) = \frac{Q(f)}{2} (1 - e^{-j2\pi f \alpha T}) \quad (3 - 21)$$

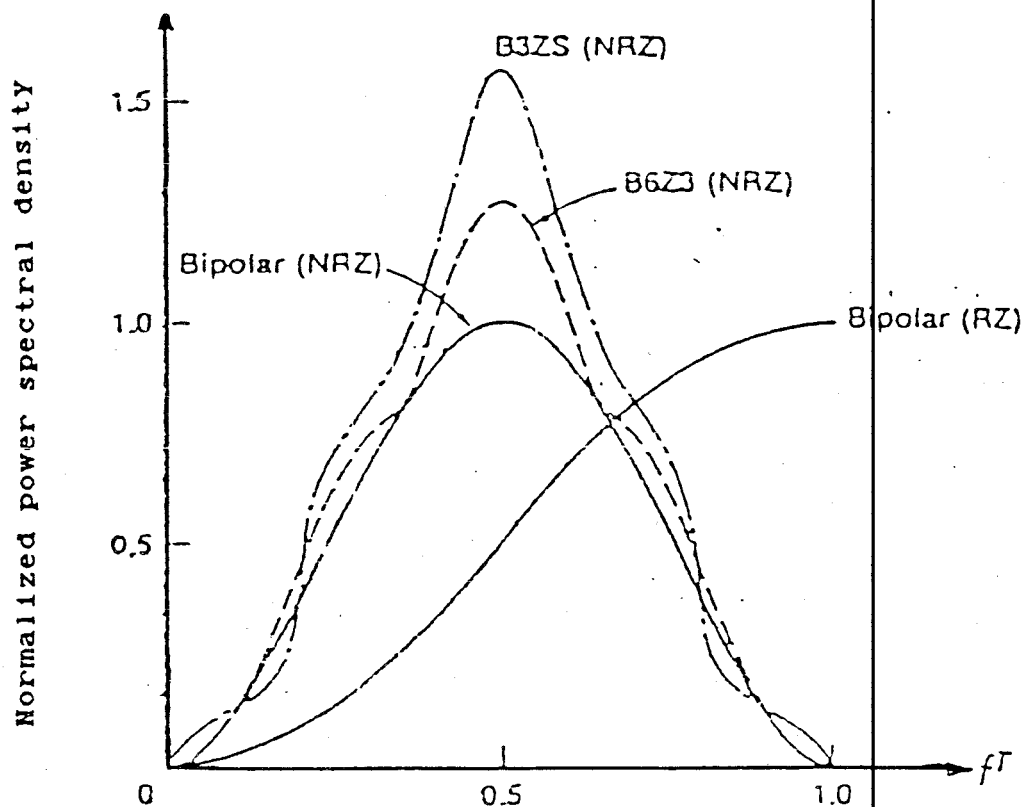
Dari definisi power spectral density atau dari persamaan (3-6) didapatkan: ⁶⁶⁾

^{64), 65), 66)} ibid hal 202.

$$S_B(f) = \frac{|Q(f)|^2}{4T} |1 - e^{-j2\pi f\alpha T}|^2$$

$$= S_Q(f) \sin^2 \pi f\alpha T \quad (3 - 22)$$

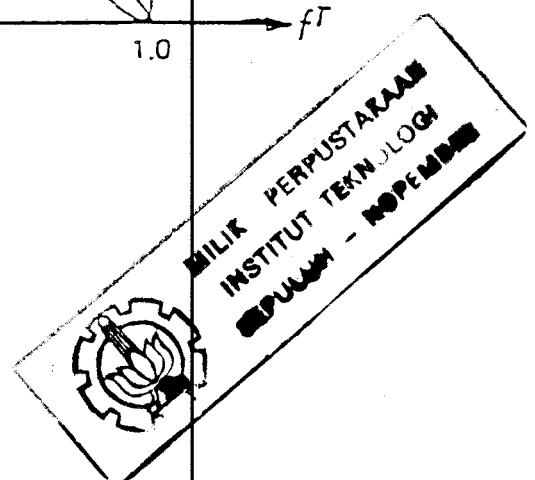
Grafik spektral kerapatan dayanya ditunjukkan pada gambar 3.25 untuk kedua kode pulsa bipolar yaitu bipolar RZ dan bipolar NRZ.



GAMBAR: 3.25⁶⁷⁾

PSD BIPOLAR

⁶⁷⁾ ibid hal 203.

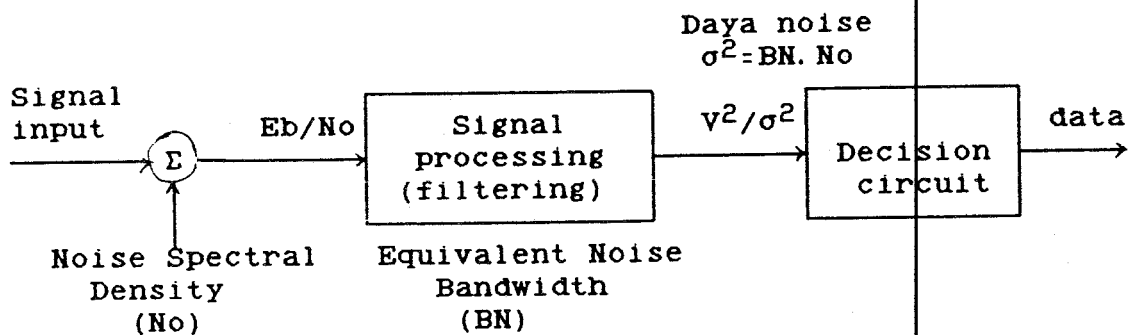


Untuk kode bipolar yang digunakan untuk mensubstitusi deret yang bernilai logika 0, mempunyai PSD yang sama dengan bipolar yang biasa. Gambar 3.25 menunjukkan PSD dari kode bipolar sedangkan untuk garis putus-putus adalah PSD untuk kode bipolar yang lain. Bandwidth dari bipolar NRZ dan bipolar RZ adalah sama untuk masing-masing NRZ dan RZ meskipun bipolar mempunyai daya yang kecil pada frekuensi rendah.

BAB IV PEMBAHASAN

IV.1. ANALISA TINGKAT KESALAHAN PENAMPILAN DATA BINER.

Pada penampilan kerja sistem komunikasi efek noise juga mempengaruhi transmisi sinyal-sinyal biner baseband. Dalam pentransmisian kode-kode pulsa noise ditambahkan pada sinyal-sinyal yang ditransmisi sehingga yang diterima di penerima atau yang diukur adalah jumlah dari keduanya. Noise disini merupakan batasan dasar dalam penampilan kerja kode saluran meskipun tidak diinginkan keberadaannya. Gambar 4.1 menggambarkan blok diagram model deteksi sinyal yang dipakai untuk menjelaskan kemungkinan kesalahan data biner pada penerima.



GAMBAR: 4.1 ⁶⁹⁾

MODEL DETEKSI SINYAL

⁶⁹⁾ John Bellamy *op cit* hal 193.

Noise disini diandaikan acak sehingga tidak dapat ditentukan sebelumnya harga-harga tegangan tertentu sebagai suatu fungsi dari waktu dan diandaikan pula noise yang mempunyai suatu fungsi kerapatan Gauss. Noise ini mempunyai distribusi normal dan merupakan model yang paling umum yang dipergunakan untuk noise additif dalam komunikasi.

IV.1.1. TINGKAT KESALAHAN PULSA BINER UNIPOLAR.

Sinyal unipolar disini sebagai contoh sinyal unipolar NRZ yang mempunyai amplitudo 0 dan V. Digit biner 0 direpresentasikan tidak ada pulsa sedangkan 1 mempunyai level amplitudo V. Pada penerima sinyal menjadi :

$$\begin{aligned} Y_1 &= V + n \\ Y_0 &= n \end{aligned} \quad (4 - 1)$$

dimana : n menunjukkan noise yang ditambahkan.

Noise n dianggap distribusi Gauss dengan rata-rata nol dan mempunyai variance σ^2 . Decision treshold di set pada level $V/2$, kemudian penerima akan memutuskan 1 jika $y > V/2$ dan memilih 0 jika $y < V/2$. Maka kesalahan akan terjadi jika ada pulsa tegangannya kurang dari $V/2$ atau tak ada pulsa noisenya melebihi $V/2$. Jika n fungsi probabilitas kerapatan Gauss maka :

$$P(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-n^2/2\sigma^2} \quad (4 - 2)$$

Dengan demikian probabilitasnya dapat ditulis :

$$\begin{aligned} P(e|1) &= P(y < V/2) \\ &= \int_{-\infty}^{V/2} P(y_1) dy_1 \\ &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{V/2} e^{-(y_1 - V/2)^2 / 2\sigma^2} dy_1 \end{aligned} \quad (4 - 3)$$

dan

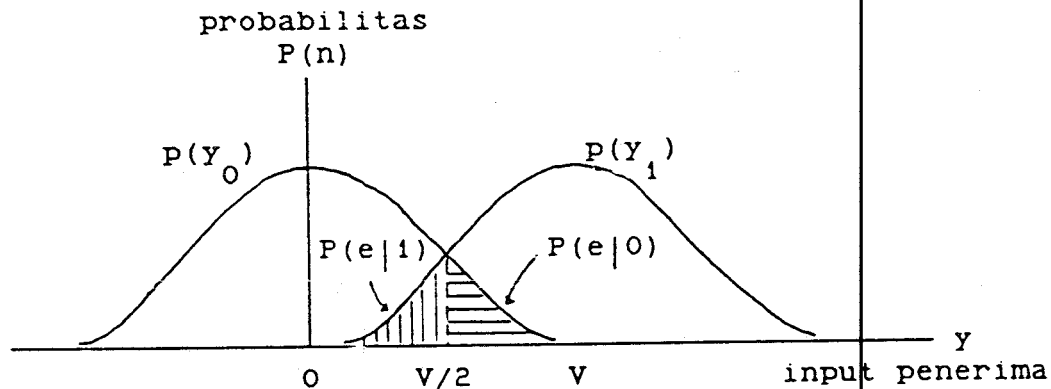
$$\begin{aligned} P(e|0) &= P(y > V/2) \\ &= \int_{V/2}^{\infty} P(y_0) dy_0 \\ &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{V/2}^{\infty} e^{-y_0^2 / 2\sigma^2} dy_0 \end{aligned} \quad (4 - 4)$$

$P(0)$ dan $P(1)$ adalah probabilitas dari pulsa 0 dan 1 yang ditransmisikan, dimana $P(0) + P(1) = 1$. Jadi total probabilitas kesalahan dapat ditulis :

$$P(e) = P(e|0)P(0) + P(e|1)P(1) \quad (4 - 5)$$

Fungsi kerapatan kemungkinan kode pulsa unipolar NRZ ditunjukkan pada gambar 4.2 dan probabilitas kesalahan

$P(e|1)$ dan $P(e|0)$ adalah daerah bayangan dibawah kurva $P(Y_1)$ dan $P(Y_0)$.



GAMBAR: 4.2

FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN UNIPOLAR NRZ

Posisi decision treshold diset nol maka daerah bayangan pada gambar 4.2 adalah minimum. Jika dianggap kemungkinan $P(0) = P(1) = 1/2$ maka hasilnya adalah probabilitas kesalahan yang minimum. Maka dari persamaan (4-3) dan (4-4) dengan merubah ke variabel :

$$x = (Y_1 - V/2)/\sigma = (Y_0)/\sigma$$

dihasilkan :

$$P(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{V/2\sigma}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \quad (4 - 6)$$

Dalam fungsi kesalahan pelengkap dapat di tulis :

$$P(e) = \operatorname{erfc} \left(\frac{V}{2\sigma} \right) \quad (4 - 7)$$

Probabilitas kesalahan untuk kode pulsa unipolar NRZ dapat di tulis dalam daya rata-rata S dan daya rata-rata noise N . Dimana besarnya $S = V^2/2$ dan $N = \sigma^2$ sehingga persamaan (4-7) dapat ditulis:

$$P(e) = \operatorname{erfc} \sqrt{S/2N} \quad (4 - 8)$$

IV.1.2. TINGKAT KESALAHAN PULSA BINER POLAR.

Untuk mengetahui tingkat kesalahan pulsa-pulsa biner polar sebagai contoh sinyal polar NRZ yang mempunyai level amplitudo $\pm V$ yang menyatakan nilai logika dari digit biner 0 dan 1. Dengan adanya noise di saluran transmisi maka pada penerima kedua sinyal yang menyatakan nilai logika 0 dan 1 menjadi :

$$\begin{aligned} Y_1 &= V + n \\ Y_0 &= -V + n \end{aligned} \quad (4 - 9)$$

dimana: n menunjukkan noise yang ditambahkan.

Dianggap bahwa noise n adalah Gaussian distribusi dengan rata-rata nol dan varian $= \sigma^2$. Noise adalah random dan mempunyai beberapa kemungkinan melewati level sinyal, sehingga ada kemungkinan kesalahan dalam proses keputusan.

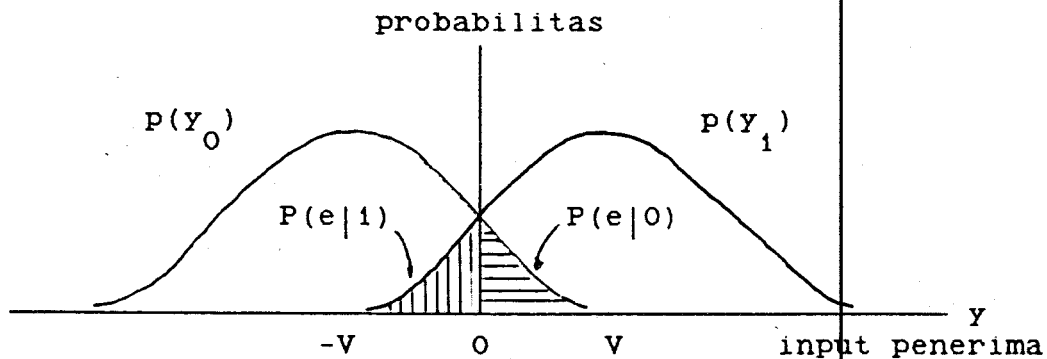
Jika noise secara simetris didistribusikan antara $\pm V$ dan decision treshold di set pada nol, kemudian penerima akan memilih 1 jika $y > 0$ dan memilih 0 jika $y < 0$. Untuk pengiriman digit biner 1 kesalahan dapat terjadi jika pada waktu keputusan n lebih negatif dari pada $-V$. Jika n fungsi probabilitas kerapatan Gauss seperti pada persamaan 4-2 maka bentuk persamaan probabilitas ini adalah:

$$\begin{aligned}
 P(e|1) &= P(Y < 0) \\
 &= \int_{-\infty}^0 p(Y_1) dy_1 \\
 &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-(Y_1-V)^2/2\sigma^2} dy_1 \quad (4 - 10)
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 P(e|0) &= P(Y > 0) \\
 &= \int_0^{\infty} p(Y_0) dy_0 \\
 &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-(Y_0+V)^2/2\sigma^2} dy_0 \quad (4 - 11)
 \end{aligned}$$

Probabilitas kesalahan $P(e|1)$ dan $P(e|0)$ adalah daerah bayangan dibawah kurva $p(Y_1)$ dan $p(Y_0)$ pada fungsi kerapatan kemungkinan sinyal biner seperti ditunjukkan pada gambar 4.3.



GAMBAR: 4.3

FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN BINER POLAR NRZ

Posisi decision treshold diset nol maka daerah bayangan pada gambar 4.3 adalah minimum. Jika dianggap kemungkinan $P(0) = P(1) = 1/2$ maka hasilnya adalah probabilitas kesalahan yang minimum. Maka dari persamaan (4-10) dan (4-11) dengan merubah ke variabel :

$$z = (y_1 - V)/\sigma = (y_0 + V)/\sigma$$

dihasilkan :

$$P(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{V/\sigma}^{\infty} e^{-z^2/2} dz \quad (4 - 12)$$

Dalam fungsi kesalahan pelengkap dapat di tulis :

$$P(e) = \text{erfc} \left(\frac{V}{\sigma} \right) \quad (4 - 13)$$

Hasil ini dapat dihubungkan dengan S/N rasio dengan rata-rata daya sinyal S setara dengan V^2 dan rata-rata daya noise N adalah setara dengan σ^2 . Jadi probabilitas kesalahan untuk polar NRZ dari persamaan (4-13) dapat ditulis:

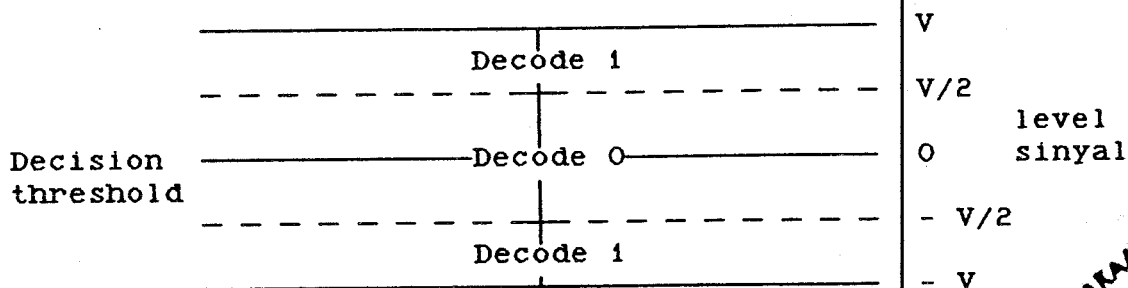
$$P(e) = \text{erfc} \sqrt{S/N} \quad (4 - 14)$$

IV.1.3. TINGKAT KESALAHAN BIPOLAR.

Untuk pengkodean bipolar dengan level $\pm V$ dan 0 kemungkinan kesalahan pada penerima dapat ditulis :

$$P(e) = P(e|V)P(V) + P(e|-V)P(-V) + P(e|0)P(0) \quad (4 - 15)$$

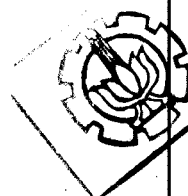
Seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 dua keputusan treshold di set pada tengah-tengah diantara tiga level sinyal. Aturan keputusan pada penerima adalah sama dengan yang telah diuraikan sebelumnya.



GAMBAR: 4. 4⁷⁰⁾

ATURAN DEKODER BIPOLAR

⁷⁰⁾ ibid hal 207.



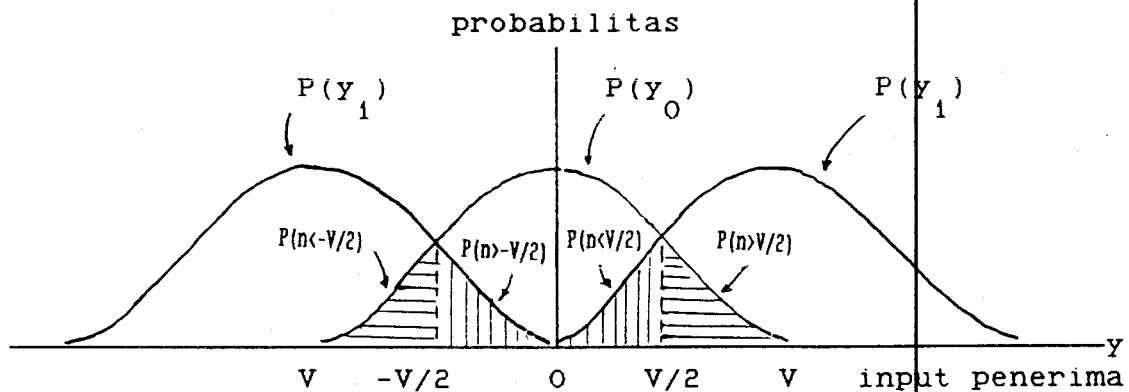
MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

Pemilihan level sinyal adalah yang paling kecil pada sinyal yang diterima. Ekspresi dari persamaan (4-15) dapat ditulis:

$$P(e) = P\left(n < \frac{-V}{2}\right) P(V) + P\left(n > \frac{V}{2}\right) P(-V) \\ + \left[P\left(n < \frac{-V}{2}\right) + P\left(n > \frac{V}{2}\right) \right] P(0) \quad (4 - 16)$$

dimana: n = besarnya sinyal biner yang jadi keputusan.

Dikarenakan distribusi noise Gauss adalah simetri maka ungkapan dalam persamaan (4-16) mempunyai fungsi kerapatan kemungkinan yang simetri jika kemungkinan munculnya pulsa 1 dan 0 di penerima sama dan fungsi kerapatan kemungkinan kode pulsa ini ditunjukkan seperti pada gambar 4.5.



GAMBAR : 4.5

FUNGSI KERAPATAN KEMUNGKINAN SINYAL BIPOLAR

Dari persamaan 4-16 dan gambar 4.5 dapat diperlihatkan bahwa probabilitas kesalahan untuk sinyal bipolar adalah satu setengah kali sinyal unipolar NRZ. Jadi probabilitas kesalahan untuk sinyal bipolar dapat ditulis:

$$P(e) = \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{V}{2\sigma} \right) \quad (4 - 17)$$

IV.1.4. SIGNAL TO NOISE RASIO.

Sinyal input merupakan hasil penjumlahan antara sinyal biner dengan noise. Besarnya daya sinyal input dapat ditulis:

$$\begin{aligned} \text{Signal power} &= (\text{Energy per bit}) (\text{Bit per interval}) (1/T) \\ &= d. E_s (1/T) \\ &= d. E_b \log_2 L (1/T) \end{aligned} \quad (4 - 18)$$

dimana: d = kerapatan pulsa.

E_b = Energy per bit.

$\log_2 L$ = level dari bit per simbol.

$1/T$ = Kecepatan pensinyalan (bit/dt)

Dalam analisa tingkat kesalahan digunakan varian dari noise yaitu σ^2 yang setara dengan daya rms yang diukur pada detektor penerima. Jika tidak ada sinyal ini dapat ditentukan secara analitis yaitu :

$$\begin{aligned}
 \sigma^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} \left| H(f) \left(\frac{1}{2} N_0 \right) \right|^2 df \\
 &= N_0 \int_0^{\infty} |H(f)|^2 df \\
 &= N_0 \cdot BN \qquad (4 - 19)
 \end{aligned}$$

dimana : N_0 = Salah satu sisi kerapatan spektral daya noise dalam Watt/Hz.

BN = adalah noise equivalent bandwidth atau bandwidth noise pada filter function di penerima.

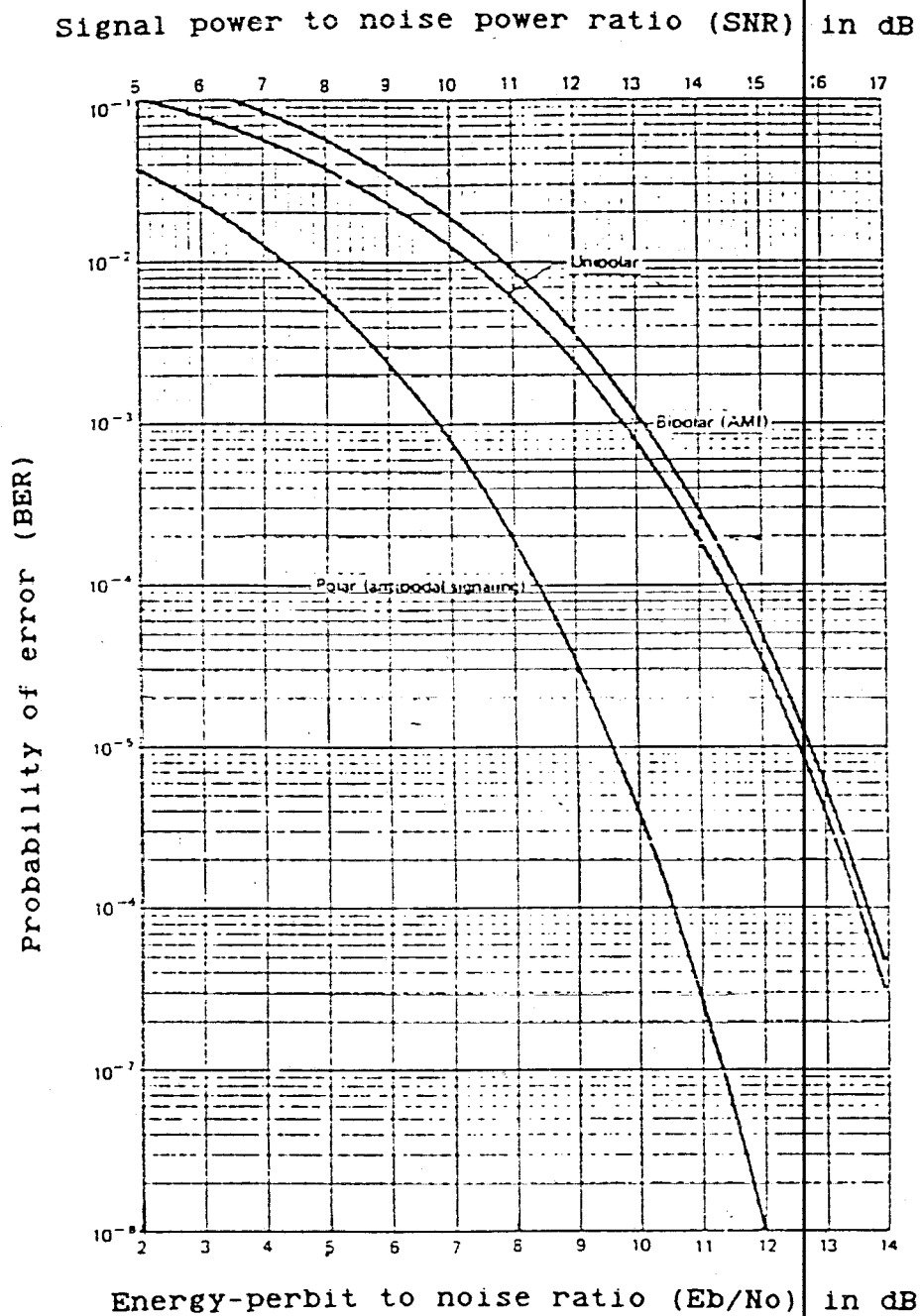
Besarnya Signal to Noise ratio diperoleh dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 \text{SNR} &= \frac{\text{Daya sinyal}}{\text{Daya noise}} \\
 &= \frac{d \cdot E_s (1/T)}{N_0 \cdot BN} \\
 &= \frac{d \cdot E_b \log_2 L (1/T)}{N_0 \cdot BN} \qquad (4 - 20)
 \end{aligned}$$

dimana: E_s = Energy per symbol.

BN = Bandwidth efektif noise di penerima (Hz).

Pada gambar 4.6 menunjukkan tingkat kesalahan kode saluran yang dilengkapi dengan energy per bit ratio (E_b/N_0) dan signal to noise ratio.

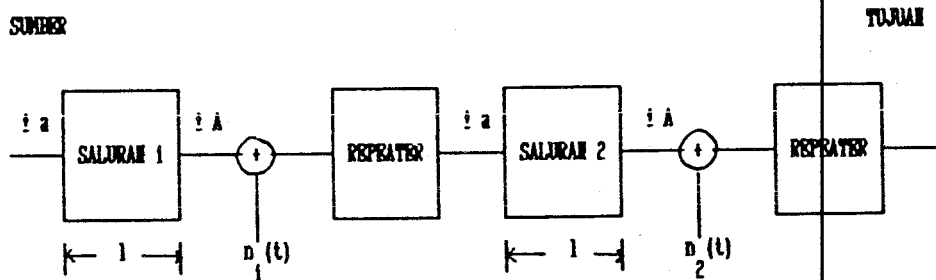
GAMBAR: 4.6⁷¹⁾

TINGKAT KESALAHAN KODE POLAR (NRZ), UNIPOLAR DAN BIPOLAR

⁷¹⁾ John Bellamy, *op. cit* hal 195.

IV.2. KESALAHAN PADA REPEATER-REPEATER PCM.

Dalam regeneratif repeater, noise secara efektif dihilangkan di setiap repeater, dan tidak dibawa dari repeater satu ke repeater lain. Tetapi dalam proses membuat suatu keputusan di setiap repeater, kesalahan-kesalahan dapat terjadi dan ini dapat disalurkan ke seluruh saluran.



GAMBAR: 4.7⁷²⁾

REPEATER-REPEATER PCM

Pada gambar 4.7 ditunjukkan model repeater-repeater PCM yang disusun secara serial. Misalkan sinyal yang ditransmisi adalah kode pulsa polar NRZ dengan amplitudo sebesar $\pm a$ atau daya yang ditransmisi sebesar a^2 , amplitudo sinyal yang berhubungan di ujung saluran sepanjang l adalah A .

Dalam hal ini noise adalah distribusi Gauss dengan variance σ^2 dimasukkan pada setiap hubungan saluran dan

⁷²⁾ Mischa Schwartz op cit hal 365.

noise-noise yang berbeda adalah bebas satu sama lain. Jika yang dipergunakan berupa penguat sinyal bukan regeneratif repeater maka gabungan sinyal dan noise pada repeater pertama dapat ditulis:

$$v(t) = \pm A + n_1(t) \quad (4 - 21)$$

Setelah m hubungan saluran, gabungan sinyal dan noise, di tujuan akhir dapat ditulis:

$$v(t) = \pm A + n_1(t) + \dots + n_m(t) \quad (4 - 22)$$

Kemungkinan kesalahan dalam skema m hubungan penguat didapat dari persamaan (4-12) dimana besarnya variance σ^2 diganti dengan $m\sigma^2$. Jadi adanya m penguat yang dipasang secara seri akan menaikkan harga rms noise sebesar \sqrt{m} dan besarnya kemungkinan kesalahan diberikan oleh:

$$\begin{aligned} P_{\text{amp}}(e) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{A/\sqrt{m\sigma}}^{\infty} e^{-y^2/2} dy \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{A}{\sqrt{2m\sigma}} \right] \\ &\equiv \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{A}{\sqrt{2m\sigma}} \end{aligned} \quad (4 - 23)$$

Dalam penguat ini noise secara berturut-turut ikut dikuatkan sehingga akan menambah kesalahan.

Untuk regeneratif repeater noise praktis dihilangkan di tiap-tiap repeater dan sinyal dibentuk kembali seperti sinyal yang ditransmisikan. Jadi untuk kesalahan-kesalahan yang mula-mula dibuat di suatu tempat di sepanjang saluran dapat dibetulkan jika suatu repeater berikutnya dalam saluran membuat suatu kesalahan kompensasi atau jika ada sejumlah genap keputusan salah maka suatu kesalahan akhir dibuat jika sejumlah ganjil keputusan salah dibuat di sepanjang saluran. Jika diandaikan seperti ini dengan varian σ^2 maka kemungkinan kesalahan di sembarang salah satu repeater adalah:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{A/\sigma}^x e^{-y^2/2} dy$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{A}{\sqrt{2}\sigma} \quad (4 - 24)$$

Kemungkinan membuat k kesalahan di m titik keputusan adalah:

$$P(k \text{ kesalahan}) = \binom{m}{k} p^k (1-p)^{m-k} \quad (4 - 25)$$

dengan $\binom{m}{k} = \frac{m!}{(m-k)! k!}$

Banyak cara yang mungkin dalam mana suatu urutan k keputusan salah dan $(m-k)$ keputusan betul yang dapat dibuat

dan ini merupakan distribusi binomial. Maka kemungkinan kesalahan, $P_{rep}(e)$ pada seluruh sistem m hubungan diperoleh dengan menjumlahkan pada semua harga ganjil k , dan diberikan oleh :

$$\begin{aligned}
 P_{rep}(e) &= mp (1 - p)^{m-1} + \\
 &\quad \frac{m(m-1)(m-2)}{3!} p^3 (1-p)^{m-3} + \dots \\
 &= \sum_{k=1}^m \binom{m}{k} p^k (1-p)^{m-k} \quad (4 - 26)
 \end{aligned}$$

Jika $mp \ll 1$, maka :

$$P_{rep}(e) = mp \quad (mp \ll 1) \quad (4 - 27)$$

Untuk saluran sepanjang l dengan atenuasi daya sebesar α Neper/panjang satuan maka untuk kode pulsa dengan amplitudo $\pm a$ atau daya yang ditransmisi a^2 pada ujung saluran besarnya daya yang ditransmisi sebesar $a^2 e^{-\alpha l}$. Jadi untuk kemungkinan kesalahan yang kecil dengan panjang saluran total L dan daya pentransmisi a^2 didapatkan :

$$P_{rep}(e) = \frac{m}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{a}{\sqrt{2\sigma}} e^{-\alpha L/2m} \right] \quad (4 - 28)$$

dimana :

L = panjang saluran total.

a^2 = daya pentransmisi.

α = attenuasi daya (neper/satuan panjang)

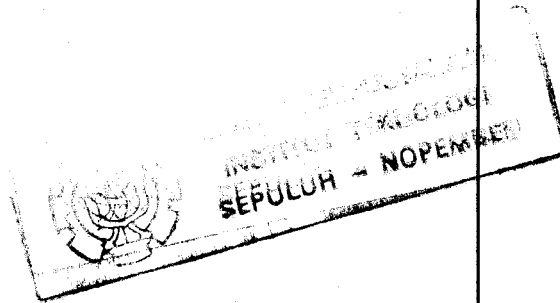
m = banyaknya repeater.

IV.3. PERTIMBANGAN PENGGUNAAN KODE SALURAN.

Penggunaan kode saluran tergantung dari tujuan penggunaan kode saluran tersebut. Pada sistem komunikasi telepon digital terutama ditujukan untuk mendapatkan kualitas dari transmisi sinyal-sinyal digit biner disamping untuk mendapatkan kemudahan dalam sistem perangkat kerasnya. Hal-hal dibawah ini merupakan pertimbangan dalam pemilihan kode saluran tersebut.

1. Sinyal NRZ.

- a. Sinyal NRZ unipolar ini tidak mempunyai level dc nol karena level rata-rata yang konstan variasinya tergantung dari perbandingan 1 dan 0 yang ditransmisikan sehingga level rata-ratanya pada sinyal ini tidak pernah nol. Kopling sinyal ini ke jaringan dengan menggunakan trafo dapat memutar balikkan bentuk sinyal ini sehingga dapat menambah kesalahan. Sedangkan pada sinyal NRZ polar level rata-ratanya nol sehingga mempunyai komponen dc nol.



- b. Spektrum Kerapatan dayanya mempunyai kerapatan daya yang besar pada frekuensi rendah. Disamping itu daya maksimumnya didapat pada frekuensi rendah yaitu nol dan besarnya komponen dc ini sebesar V^2 Watt.
- c. Dengan bentuk sinyal mempunyai deret nol yang panjang akan menyebabkan kesulitan dalam clock recovery yang berfungsi meletakkan kembali pulsa-pulsa pada urutan yang sama pada pengirim sehingga dalam pembentukan kembali sinyal-sinyal tersebut banyak mengalami kesalahan.
- d. Misalkan kode ini dipergunakan sebagai kode dengan kecepatan bit 1554 Mbit/dt. Maka lebar bidang minimum saluran :

$$B = 1554/2 = 777 \text{ KHz.}$$

2. Sinyal RZ.

- a. Sinyal ini merupakan sinyal unipolar dengan demikian dihasilkan komponen dc yang merupakan suatu pemborosan daya pada waktu ditransmisikan. Kopling ke-jaringan dengan menggunakan kapasitor dan trafo dapat memutar balikkan bentuk sinyal ini dan dapat menambah kesalahan.
- b. Untuk spektrum Kerapatan daya mempunyai lebar bidang sebese dua kali dari lebar bidang sinyal NRZ. Daya maksimum didapatkan pada frekuensi rendah sebesar

$V^2T/16$ Watt/Hz. Daya ini merupakan daya komponen dc yang merupakan pemborosan daya karena tidak menambah isi dari informasi.

c. Dengan adanya deret 0 yang dihasilkan akan mengalami kesulitan dalam hal clock recovery.

3. Sinyal biphas.

a. Dengan adanya perubahan kerapatan yang tinggi sinyal ini cocok digunakan dalam peralatan yang memerlukan kepadatan serta kemampuan menerima perubahan transisi sinyal yang sangat tinggi misalnya peralatan perekaman digital magnetik.

b. Sinyal ini mempunyai lebar bidangnya sebesar dua kali sinyal unipolar RZ atau empat kali lebar bidang sinyal polar NRZ. Dengan demikian kapasitas informasinya juga semakin besar.

c. Dari segi deteksi kesalahan sinyal ini memerlukan dua interval bit untuk mendeteksi satu kode pulsa sehingga dalam prakteknya cukup sulit untuk dilaksanakan.

d. Dari segi sinkronisasi, kode pulsa ini mempunyai penampilan kerja yang cukup baik dengan adanya perubahan level sinyal tiap-tiap bit interval.

4. Sinyal bipolar.

a. Dengan adanya polaritas yang berganti-ganti untuk

- nilai logika 1 yang berturut-turut tidak dihasilkan komponen dc.
- b. Lebar bidangnya sebesar dua kali lebar bidang sinyal polar NRZ atau sama dengan sinyal unipolar RZ. Daya maksimum didapat pada frekuensi $1/2T$.
 - c. Sinyal bipolar ini mempunyai kesatuan yang dapat digunakan untuk memeriksa adanya kesalahan pada penerima dengan mendeteksi dua pulsa yang berturut-turut yang mengindikasikan kesalahan terhadap noise, dan dikenal sebagai Bipolar violation error. Seperti pada sinyal BZNS dan HDBN.
 - d. Sinyal bipolar ini tidak mempunyai komponen dc sehingga dapat dipakai pada regeneratif repeater dengan menggunakan coupled transformer.

IV.3.1. PERTIMBANGAN DARI TINGKAT KESALAHAN.

Tingkat kesalahan dalam transmisi biner dalam hal ini dipengaruhi oleh adanya noise pada saluran. Sebagai perbandingan dari ketiga macam bentuk sinyal yaitu unipolar, polar dan bipolar.

- a. Untuk sinyal polar NRZ dengan $V/\sigma = 10$ dB.

$$\begin{aligned}
 P(e) &= \operatorname{erfc} \sqrt{10} \\
 &= 1 - \operatorname{erf} \sqrt{10} \\
 &= 1 - 0,99999 \\
 &= 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Berarti bahwa rata-rata 1 bit dalam 10^5 yang ditransmisikan diduga salah atau suatu kesalahan setiap 0,1 detik.

b. Untuk sinyal unipolar NRZ dengan $V/\sigma = 10$ dB.

$$\begin{aligned} P(e) &= \operatorname{erfc} 0,5 \sqrt{10} \\ &= 1 - \operatorname{erf} 1,581 \\ &= 1 - 0,97466 \\ &= 0,02534 \quad (2 \cdot 10^{-5}) \end{aligned}$$

c. Untuk sinyal bipolar dengan $V/\sigma = 10$ dB

$$\begin{aligned} P(e) &= \frac{3}{2} \operatorname{erfc} 0,5 \sqrt{10} \\ &= \frac{3}{2} (1 - \operatorname{erf} 1,581) \\ &= 3 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

IV.3.2. PEMAKAIAN REPEATER.

Penggunaan repeater tidak terbatas untuk satu repeater saja melainkan banyak repeater yang dipasang secara serial untuk mendapatkan penampilan kerja yang lebih baik. Jika banyaknya repeater $m = 10$ dan $V/\sigma = 10$ db maka untuk :

a. Repeater dengan kode saluran polar NRZ.

$$P(e) = 10^{-5}$$

Kesalahan total repeater :

$$\begin{aligned} P_{\text{rep}} &= m \cdot P(e) \\ &= 10 \cdot 10^{-5} \\ &= 10^{-4} \end{aligned}$$

Jika digunakan penguat maka besarnya kesalahan keseluruhan :

$$\begin{aligned} P_{\text{amp}} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{V}{\sqrt{2m}} \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{20}} \\ &= \frac{1}{2} (1 - \operatorname{erf} 0,7071) \\ &= \frac{1}{2} (1 - 0,67780) \\ &= 0,166 \end{aligned}$$

b. Repeater dengan kode saluran unipolar NRZ

$$P(e) = 2 \cdot 10^{-5}$$

Kesalahan total repeater :

$$\begin{aligned} P_{\text{rep}}(e) &= 10 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Kesalahan penguat untuk 10 hubungan :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{amp}}(e) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{V}{2\sqrt{2} \cdot 10 \cdot \sigma} \\
 &= \frac{1}{2} (1 - \operatorname{erf} \frac{\sqrt{10}}{2\sqrt{20}}) \\
 &= \frac{1}{2} (1 - \operatorname{erf} 0,3535) \\
 &= \frac{1}{2} (1 - 0,37938) \\
 &= 0,31
 \end{aligned}$$

c. Repeater dengan kode saluran bipolar.

$$P(e) = 3 \cdot 10^{-5}$$

Kesalahan total repeater :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{rep}}(e) &= 10 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \\
 &= 3 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Maka kesalahan penguatan amplifier secara keseluruhan :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{amp}}(e) &= \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \frac{V}{2\sqrt{2m} \cdot \sigma} \\
 &= \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{10}}{2\sqrt{20}} \\
 &= 3/2 (1 - \operatorname{erf} 0,3535) \\
 &= 3/2 (1 - 0,37938) \\
 &= 0,93
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas penggunaan regeneratif repeater mempunyai penampilan kerja yang lebih baik dibandingkan dengan penguatan biasa.

IV.4. PENGGUNAAN KODE SALURAN.

Penggunaan kode saluran yang terutama tergantung dari penggunaan secara khusus dari kode saluran tersebut. Setiap kode pulsa mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga pertimbangan-pertimbangan mengenai bentuk pulsa, bandwidth, tingkat kesalahan serta penampilan kerja dari kode saluran tersebut menjadikan pertimbangan dalam pemakaiannya.

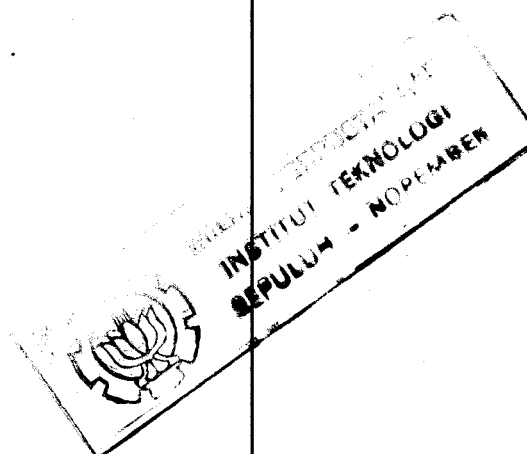
Pada sistem telepon digital dalam aplikasinya banyak menggunakan kode-kode saluran bipolar bila ditinjau dari bentuk gelombang, kemampuannya mensubstitusi deret 0 yang panjang serta deteksi kesalahan merupakan keuntungan dibandingkan dengan kode pulsa yang lain meskipun kemungkinan kesalahan lebih besar dari kode pulsa yang lain. Tetapi dalam hal ini masih memberikan penampilan kerja yang lebih baik.

Penggunaan kode saluran dalam sistem transmisi digital bervariasi untuk bermacam-macam kecepatan bit seperti tabel 4.1 dibawah ini.

TABEL: 4. 1⁷³⁾

SISTEM TRANSMISI DIGITAL

ADMINISTRATOR/ NEGARA PEMAKAI	KECEPATAN BIT (Mbit/detik)	TINGKAT HIRARKI	KODE SALURAN
AT AND T	1.544	1	BIPOLAR
AT AND T	3.125	2	BIPOLAR
AT AND T	6.312	2	B6ZS
AT AND T	274.176	4	NRZ
CANADA	274.176	4	B3ZS
CCITT	1.544	1	BIPOLAR
CCITT	2.408	1	HDB3
CCITT	6.312	2	B6ZS
CCITT	8.448	3	HDB3
CCITT	34.368	3	HDB3
NTT	32.064	3	BIPOLAR
AMERIKA UTARA	44.736	3	B3ZS



⁷³⁾ John Bellamy op cit hal 190.

BAB V KESIMPULAN

Dari pembahasan-pembahasan yang terdapat pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- (1). Sinyal bipolar mempunyai kemungkinan kesalahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan NRZ, RZ maupun Biphase tetapi dalam komunikasi telepon digital banyak dipergunakan.
- (2). Sinyal biphase dengan bandwidth yang lebar dan mempunyai kerapatan bit yang tinggi sehingga dalam penerapannya banyak dipakai dalam sistem perekaman digital magnetic.
- (3). Sinyal unipolar RZ merupakan pilihan yang jelek untuk transmisi digital karena mempunyai komponen dc yang cukup besar dan tidak memberikan keuntungan terhadap isi informasi yang ditransmisikan bahkan merupakan pemborosan daya.
- (4). Dengan menggunakan banyak regeneratif repeater yang dipasang secara serial dan perbandingan signal to noise yang relatif tinggi maka regeneratif repeater yang dipergunakan mempunyai penampilan kerja yang

jauh lebih baik, bila dibandingkan dengan menggunakan suatu penguat atau amplifier.

- (5). Kemampuan kode-kode bipolar untuk mengkompensasi kemungkinan kesalahan yang terjadi merupakan pertimbangan dalam sistem komunikasi telepon digital. Disamping itu kode ini mempunyai daya yang terpusat pada sinyal.
- (6). Kode bipolar merupakan sinyal ac karena mempunyai polaritas yang berganti-ganti sehingga dari segi peralatan amplifier yang dipergunakan lebih murah bila dibandingkan dengan amplifier dc.
- (7). Kode-kode biphase dalam deteksi kesalahannya banyak mengalami kesulitan hal ini dikarenakan terjadi perubahan level sinyal setiap setengah bit interval sehingga diperlukan dua bit interval untuk pendeteksi kesalahannya.
- (8). Dengan Signal to Noise Ratio yang sama untuk ketiga macam sinyal yaitu Bipolar, Polar dan Unipolar, Probability of Error (BER) yang dihasilkan sinyal bipolar besarnya satu setengah kali dari sinyal unipolar sedangkan sinyal polar mempunyai BER yang paling kecil.
- (9). Dari segi spektrumnya sinyal-sinyal yang termasuk dalam golongan bipolar mempunyai spektral daya yang terpusat pada sinyal meskipun lebar bidang yang

dihasilkan tidak selebar sinyal unipolar atau
biphase.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bates, Paul. Digital and Data Communication with LSI Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliff, New Jersey 1987.
2. Bellamy, John. Digital Telephony. New York: John Wiley & Son, Inc. 1982.
3. Haykin, Simon. Communication System, Wiley Eastern-Limited, New Delhi. 1979.
4. Pujiono, Herman. Studi Pengkajian Sistem Telepon Digital dan Penerapannya di Surabaya, Tugas Sarjana FTI Elektro ITS, Juli 1986.
5. R. Smith, David. Digital Transmission System. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1985.
6. Roddy, Dennis. Coolen, John. Electronic Communication, Reston Pbl. Com. Inc. 1984.
7. Schwartz, Mischa. Transmission Information Modulation and Noise. New York: McGraw-Hill, Inc. 1980.
8. Shanmugam, K. Sam. Digital And Analog Communication System. New York: John Wiley & Son, Inc. 1979.
9. Tugal, Dogan/Osman. Data Transmission, New York: McGraw-Hill, Inc. 1982.

USULAN TUGAS AKHIR

A. Judul : STUDI ANALISA PENAMPILAN DATA BINER
PADA SISTEM KOMUNIKASI TELEPON DIGITAL

B. Ruang lingkup : - Sistem Komunikasi
- Sistem Modulasi
- Telefoni Digital
- Transmisi Data
- Digital Signal Processing

C. Latar Belakang : - Untuk memperoleh penampilan sistem komunikasi telepon digital yang dapat diandalkan salah satu hal yang diperlukan adalah menjaga kualitas data dan dapat diketahui seberapa jauh kualitas data yang ditransmisikan.

- Dengan adanya beberapa macam cara mentransmisikan informasi pertimbangan bentuk kode pulsa memegang peranan yang sangat penting untuk mendapatkan suatu penampilan kerja sistem komunikasi telepon digital yang dapat diandalkan.

D. Penelaahan Studi :

Dalam studi mengenai analisa penampilan data biner pada sistem komunikasi telepon digital dilaksanakan sebagai berikut :

- Membahas mengenai sistem komunikasi telepon digital dengan menitik beratkan pada sistem modulasi kode pulsa.
- Melakukan analisa penampilan data biner yang merupakan format pulsa dari modulasi kode pulsa.
- Melakukan analisa penampilan kerja kode pulsa terhadap noise serta pertimbangan-pertimbangan dalam penggunaan kode pulsa.

E. Tujuan : Mempelajari teknik penampilan data biner untuk mendapatkan penampilan kerja yang baik dalam penerapannya pada sistem komunikasi telepon digital dengan menggunakan saluran telepon.

F. Langkah : - Studi Literatur.
- Pengumpulan data.
- Analisa data.
- Kesimpulan.
- Penulisan.

H. Jadwal Kegiatan :

K E G I A T A N	B U L A N					
	I	II	III	IV	V	VI
Studi literatur	██████████	██████████	██████████	██████████		
Pengumpulan data		██████████	██████████	██████████		
Analisa Data			██████████	██████████	██████████	
Kesimpulan					██████████	██████████
Penulisan						██████████

G. Relevansi : Pembahasan tentang analisa penampilan data biner dapat dijadikan pertimbangan untuk memilih penampilan data biner yang tepat untuk sistem komunikasi data di Indonesia guna memenuhi permintaan akan jasa telekomunikasi yang semakin meningkat di masa yang akan datang.

LAMPIRAN A

TABEL

PIECEWISE LINIER APPROXIMATION TO $\mu 255$ COMPANDING

	Segment Code S								Quantization	
	000	001	010	011	100	101	110	111	Code Q	
Quantization Endpoints	0	31	95	223	479	991	2015	4063	0000	0
	1	35	103	239	511	1055	2143	4319	0001	1
	3	39	111	255	543	1119	2271	4575	0010	2
	5	43	119	271	575	1183	2399	4831	0011	3
	7	47	127	287	607	1247	2527	5087	0100	4
	9	51	135	303	639	1311	2655	5343	0101	5
	11	55	143	319	671	1375	2783	5599	0110	6
	13	59	151	335	703	1439	2911	5855	0111	7
	15	63	159	351	735	1503	3039	6111	1000	8
	17	67	167	367	767	1567	3167	6367	1001	9
	19	71	175	383	799	1631	3295	6623	1010	10
	21	75	183	399	831	1695	3423	6879	1011	11
	23	79	191	415	863	1759	3551	7135	1100	12
	25	83	199	431	895	1823	3679	7391	1101	13
	27	87	207	447	927	1887	3807	7647	1110	14
	29	91	215	463	959	1951	3935	7903	1111	15
31	95	223	479	991	2015	4063	8159			

LAMPIRAN B

TABEL
SEGMENTED A-LAW ENCODING

	Segment Code S								Quantization	
	000	001	010	011	100	101	110	111	Code Q	
Quantization Endpoints	0	32	64	128	256	512	1024	2048	0000	0
	2	34	68	136	272	544	1088	2176	0001	1
	4	36	72	144	288	576	1152	2304	0010	2
	6	48	76	152	304	608	1216	2432	0011	3
	8	40	80	160	320	640	1280	2560	0100	4
	10	42	84	168	336	672	1344	2688	0101	5
	12	44	88	176	352	704	1408	2816	0110	6
	14	46	92	184	368	736	1472	2944	0111	7
	16	48	96	192	384	768	1536	3072	1000	8
	18	50	100	200	400	800	1600	3200	1001	9
	20	52	104	208	416	832	1664	3328	1010	10
	22	54	108	216	432	864	1728	3456	1011	11
	24	56	112	224	448	896	1792	3584	1100	12
	26	58	116	232	464	928	1856	3712	1101	13
	28	60	120	240	480	960	1920	3840	1110	14
	30	62	124	248	496	992	1984	3968	1111	15
	32	64	128	256	512	1024	2148	4096		

LAMPIRAN C

ERROR FUNCTION

Error Function di notasikan dengan $\text{erf}(u)$ dan didefinisikan oleh:

$$\text{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u \exp(-z^2) dz$$

Error Function mempunyai sifat :

1. $\text{erf}(-u) = -\text{erf}(u)$

Ini disebut hubungan simetri.

2. Jika u mendekati tak terhingga, $\text{erf}(u)$ mendekati 1.

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \exp(-z^2) dz = 1$$

3. Jika variabel random X adalah distribusi Gauss dengan rata-rata m_X dan variance σ_X^2 , kemungkinan X berada dalam interval $(m_X - a, m_X + a)$ didefinisikan oleh :

$$P(m_X - a < X < m_X + a) = \text{erf} \left(\frac{a}{\sqrt{2}\sigma_X} \right)$$

Fungsi Kesalahan Pelengkap didefinisikan oleh :

$$\text{erfc}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} \exp(-z^2) dz$$

Hubungan dengan error function mengikuti :

$$\text{erfc}(u) = 1 - \text{erf}(u)$$

LAMPIRAN D

Tabel : Error Function

u	erf(u)	u	erf(u)
0,00	0,00000	1,10	0,88021
0,05	0,05637	1,15	0,89612
0,10	0,11246	1,20	0,91031
0,15	0,16800	1,25	0,92290
0,20	0,22270	1,30	0,93401
0,25	0,27633	1,35	0,94376
0,30	0,32863	1,40	0,95229
0,35	0,37938	1,45	0,95970
0,40	0,42839	1,50	0,96611
0,45	0,47548	1,55	0,97162
0,50	0,52050	1,60	0,97635
0,55	0,56332	1,65	0,98038
0,60	0,60386	1,70	0,98379
0,65	0,64203	1,75	0,98667
0,70	0,67780	1,80	0,98909
0,75	0,71116	1,85	0,99111
0,80	0,74210	1,90	0,99279
0,85	0,77067	1,95	0,99418
0,90	0,79691	2,00	0,99532
0,95	0,82089	2,50	0,99959
1,00	0,84270	3,00	0,99998
1,05	0,86244	3,30	0,999998