

Teknologi Komunikasi Digital Dan Analog: Konversi, Transmisi

Sofyan Mufti Prasetyo^{1*}, Muhamad Baisya Agusti², Dio Aria Mahesa³, Fauzi Maulana⁴,
Ahmad Rafly⁵

^{1,2,3,4,5}Ilmu Komputer, Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia
Email: ^{1*}dosen01809@gmail.com, ²baisarahadian21@gmail.com, ³dioariaa@gmail.com,
⁴fauzimlna708@gmail.com, ⁵ahmadrafly308@gmail.com
(* : coresponding author : dosen01809@gmail.com)

Abstrak - Teknologi komunikasi digital dan analog menjadi inti dari sistem komunikasi modern. Konversi antara kedua format ini serta transmisi yang efisien menjadi perhatian utama dalam pengembangan sistem komunikasi masa kini. Studi ini menyelidiki proses konversi dari sinyal digital ke analog dan sebaliknya, serta teknik transmisi yang digunakan dalam kedua domain. Melalui tinjauan literatur dan analisis mendalam, kami mengevaluasi keunggulan dan kelemahan masing-masing format dalam konteks kecepatan, keandalan, dan efisiensi bandwidth. Kami juga membahas tantangan yang terkait dengan integrasi teknologi digital dan analog dalam sistem komunikasi yang kompleks. Hasilnya menyoroti pentingnya pemahaman yang mendalam tentang konversi dan transmisi untuk mengoptimalkan kinerja sistem komunikasi. Studi ini memberikan pandangan yang komprehensif bagi para pengembang sistem komunikasi untuk memilih pendekatan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik mereka, serta memberikan dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknologi komunikasi yang lebih canggih.

Kata Kunci: Analog, Digital, Komunikasi

***Abstract** - Digital and analog communication technologies are at the core of modern communication systems. Conversion between these two formats as well as efficient transmission are major concerns in the development of today's communication systems. The study investigates the conversion process from digital to analog signals and vice versa, as well as the transmission techniques used in both domains. Through literature reviews and in-depth analysis, we evaluate the strengths and weaknesses of each format in the context of speed, reliability, and bandwidth efficiency. We also discuss the challenges associated with the integration of digital and analog technologies in complex communication systems. The results highlight the importance of a deep understanding of conversion and transmission to optimize the performance of communication systems. This study provides a comprehensive view for communication system developers to choose an approach that suits their specific application needs, as well as provides a basis for further research in the development of more advanced communication technologies.*

Keywords: Analog, Digital, Communication

1. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang terus berkembang, teknologi komunikasi menjadi inti dari perubahan sosial, ekonomi, dan budaya yang mendalam. Perkembangan pesat dalam teknologi komunikasi, baik dalam bentuk digital maupun analog, telah mengubah cara kita berinteraksi, bekerja, dan berbagi informasi. Teknologi komunikasi digital dan analog telah menjadi tulang punggung dari banyak aspek kehidupan modern. Peralihan dari komunikasi analog ke digital telah membawa perubahan besar dalam cara kita berkomunikasi. Dengan teknologi digital, kita dapat mentransmisikan data dalam bentuk yang lebih efisien, andal, dan cepat dibandingkan dengan sistem analog tradisional. Namun demikian, sistem analog masih memiliki peran penting dalam beberapa aplikasi khusus, seperti komunikasi suara dan video analog, serta beberapa sistem sensor dan pengukuran.

Meskipun kemajuan teknologi komunikasi digital telah membawa manfaat besar, namun juga timbul beberapa isu permasalahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah keamanan informasi dalam transmisi digital, di mana kebocoran data dan serangan siber menjadi ancaman yang semakin nyata. Di sisi lain, meskipun teknologi analog memiliki keunggulan dalam beberapa aplikasi, namun kelemahan dalam hal efisiensi dan kehandalan menjadi tantangan yang perlu diatasi. Mengingat betapa pentingnya teknologi komunikasi dalam kehidupan sehari-hari, pemahaman yang mendalam tentang konversi dan transmisi baik dalam konteks digital maupun analog menjadi sangat penting. Dengan memahami kedua teknologi ini, kita dapat mengoptimalkan penggunaannya sesuai

dengan kebutuhan dan meminimalkan risiko yang terkait dengannya. Selain itu, kecepatan perkembangan teknologi juga menuntut agar kita terus memperbarui pengetahuan dan keterampilan kita dalam hal ini, agar tetap relevan dan mampu mengikuti perkembangan zaman.

Dengan demikian, melalui pemahaman yang mendalam tentang teknologi komunikasi digital dan analog, kita dapat memanfaatkan potensi penuh dari kedua jenis teknologi ini untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keamanan dalam berbagai aspek kehidupan kita.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk membuat sebuah laporan ini adalah metode studi pustaka. Studi pustaka merupakan pengumpulan beberapa informasi yang relevan dengan topic atau masalah yang sedang di teliti dari berbagai macam sumber yang berupa buku, jurnal, media elektronik, dan sebagainya. Sumber data dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu data yang diperoleh melalui telaah kepustakaan dan juga data dari pemerintah setempat. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dalam bentuk yang sudah jadi berbentuk naskah tertulis atau dokumen, buku-buku, hasil laporan dan penelitian terdahulu (jurnal), dan data lainnya yang berkaitan dengan Teknologi Komunikasi Digital dan Analog.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Transmisi Data Sinyal Analog adalah suatu upaya mentransmisi sinyal analog tanpa memperhatikan muatannya; sinyal-sinyalnya dapat mewakili data analog atau data digital. Untuk jarak yang jauh dipakai amplifier yang akan menambah kekuatan sinyal sehingga menghasilkan distorsi yang terbatas. Transmisi analog merupakan proses pemindahan sinyal analog tanpa mengurangi kontennya sama sekali. Sinyal dapat berupa data analog (data suara) atau data digital (data luaran modem). Untuk pengiriman jarak jauh, transmisi analog membutuhkan alat penguat (amplifier) untuk meningkatkan energi dalam sinyal. Dampak buruknya adalah amplifier juga meningkatkan noise yang terdapat pada sinyal. Dengan demikian, sinyal yang dikirimkan menjadi lebih kotor.

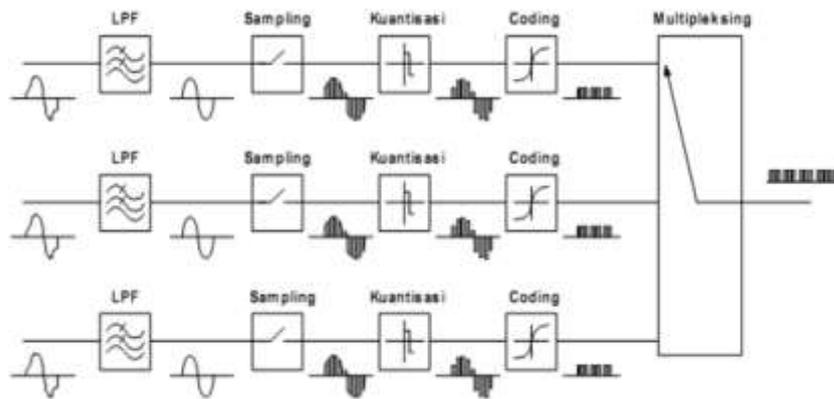
Contoh sinyal analog adalah sinyal telepon, sinyal televisi, dan sinyal radio. Sinyal digital memiliki nilai diskrit, contohnya text dan integers. Audio merupakan contoh sinyal analog. Suara manusia ditransmisikan dengan frekuensi sekitar 100Hz – 7kHz. Suara manusia ini memiliki tingkat densitas suara sekitar 25dB. Ciri Sinyal Analog:

1. Rentan terhadap Noise
2. Signal yang diterima diproses dengan diulang dan diamplifikasi.
3. Mudah terjadi crosstalk
4. Bentuk sinyal kontinyu.
5. Kualitas signal diukur dalam satuan S/N (Signal To Noise Ratio)

Sebelumnya, data-data tersebut perlu dikonversikan terlebih dahulu dari analog ke digital. Untuk mengkonversikan sinyal analog ke digital perlu melalui proses yang bernama PCM (*pulse code modulation*). Perubahan sinyal tersebut terjadi pada alat ADC (*analog to digital converter*) melalui tiga proses, yaitu sampling, kuantisasi, dan pengkodean. Sampling, Proses ini merupakan pengambilan nilai-nilai sinyal analog pada interval waktu yang tetap. Misalnya, sinyal analog punya frekuensi sebesar 50 Hz. Berdasarkan teorema Nyquist, kalau frekuensi tersebut 50 Hz, maka laju samplingnya adalah 2x frekuensi sinyal, artinya ada 100 sample/s. Setelah disampling, maka akan masuk ke proses selanjutnya, yaitu kuantisasi atau mengambil nilai tiap sampel pada sinyal analog. Selanjutnya pengkodean dimana Proses ini merupakan memberikan kode pada tiap level kuantum dengan aturan tertentu.

3.1 Pulse Code Modulation

Salah satu sinyal digital yang digunakan pada sistem switching digital dewasa ini adalah sinyal PCM (*Pulse Code Modulation*). Sinyal PCM diperoleh dari sinyal analog melalui 3 proses, yaitu : Sampling, Quantizing, Coding, Decoding.



Gambar 1. Proses Sinyal PCM (*Pulse Code Modulation*)

Pada proses sampling sinyal analog disample secara periodik menurut tingkat amplitudonya oleh sebuah modulator amplitudo dengan frekuensi tertentu. Keluaran dari modulator amplitudo adalah sinyal PAM (*Pulse Amplitude Modulation*). Informasi yang terdapat pada sinyal asli tidak akan hilang jika frekuensi masukan (f_i) tidak lebih besar dari 0.5 frekuensi sampling (f_s). Jika tidak memenuhi kriteria tersebut maka akan timbul frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan yang tidak terdapat pada sinyal asli sehingga sinyal asli tidak akan didapatkan kembali tanpa cacat. Gangguan semacam ini disebut dengan aliasing. Untuk itu sebelum proses sampling sinyal masukan terlebih dahulu harus melewati suatu LPF (*Low Pass Filter*) sehingga sinyal masukan tidak terdapat frekuensi yang lebih besar dari 0.5 frekuensi sampling. Dalam hal ini lebar jalur yang digunakan dalam komunikasi telepon adalah 300-3400 Hz, sehingga frekuensi sampling minimum adalah 6800 Hz.

Sinyal PAM hasil dari sampling selanjutnya dikuantisasi sehingga mempunyai harga diskrit. Dalam proses kuantisasi, sinyal PAM dibagi dalam daerah batas harga amplitudo sinyal dalam sejumlah interval kuantisasi. Pembagian ke dalam interval kuantisasi ini terbagi dalam dua cara :

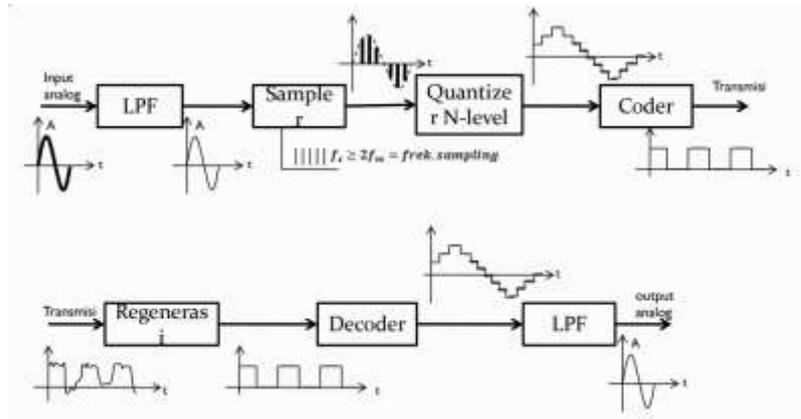
- Kuantisasi uniform yang membagi batas harga amplitudo dengan interval yang sama
- Kuantisasi non-uniform yang membagi batas harga amplitudo rendah dengan interval yang kecil sedangkan untuk amplitudo tinggi dengan interval yang besar Dalam pelaksanaannya yang banyak digunakan adalah kuantisasi non uniform, karena harga perbandingan antara sinyal masukan dan keluaran cukup konstan.

Sebuah sinyal baru dibangkitkan dari proses kuantisasi dengan misalnya membuat suatu tingkat tegangan yang sesuai dengan tingkat titik tengah dari interval kuantisasi yang bersangkutan. Hasilnya ialah sebuah bentuk gelombang yang bertingkat-tingkat mengikuti tinggi rendahnya sinyal PAM, dimana setiap tingkat disinkronkan dengan periode sampling.

Proses pengkodean (*coding*) terkait erat dengan kuantisasi. Pada proses ini dibangkitkan suatu angka kode biner (8 digit binary code) yang bersesuaian dengan tingkat kuantisasi yang akan dipancarkan untuk setiap selang waktu pengambilan sample. Angka biner ini akan mengandung serentetan pulsa-pulsa satu dan nol dengan sejumlah $\log_2 N$ pulsa-pulsa didalam setiap angka (N adalah jumlah tingkat dalam seluruh daerah). Pada PCM 30/32 sebuah kerangka pulsa akan dibagi dalam tiga puluh dua timeslot dengan inisial ts_0 sampai dengan ts_{31} . Setiap timeslot memiliki $3,9 \times 10^{-6}$ detik, yang berisi delapan bit PCM word. Semua selang waktu yang dimiliki oleh PCM dapat digunakan sebagai saluran bicara kecuali selang waktu ts_0 yang digunakan untuk keperluan sinkronisasi kerangka pulsa dan ts_{16} yang digunakan untuk keperluan pensinyalan. Pada sebuah

sentral telepon PCM 30 digunakan sebagai kanal pembicaraan yang hanya dialamatkan pada satu sentral telepon saja.

c. Diagram blok proses-proses PCM



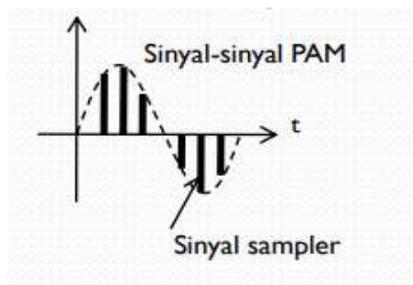
Gambar 2. Diagram blok proses-proses PCM

Penjelasan:

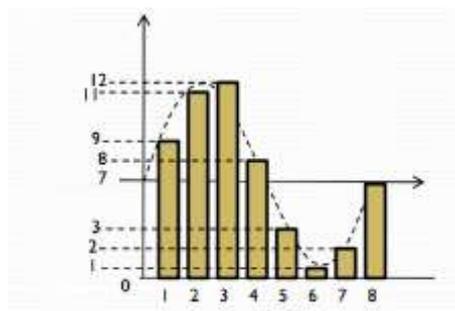
- Pada pengirim proses-proses yang dilakukan : Filter (LPF); Sampler; Quantizer; Coder
- Pada penerima proses-proses yang dilakukan : Regenerative Repeater; Decoder; Filter (LPF)

Pada Pengirim :

- Sinyal analog input berfrekuensi f_m , masih bercampur dengan noise atau sinyal-sinyal lain yang berfrekuensi lebih tinggi.
- Sinyal output LPF berfrekuensi f_m
- Frekuensi sampling (pulsa-pulsa sampling) pada proses sampling $f_s \geq 2 f_m$ (Theorema Nyquist), Sinyal output sampler disebut sinyal PAM (Pulse Amplitudo Modulation) = Modulasi Kode Pulsa



- Sinyal output Quantizer, memiliki level tertentu



Sinyal PAM 1 diberi level 9

Sinyal PAM 2 diberi level 11

Sinyal PAM 3 diberi level 12

Sinyal PAM 4 diberi level 8

Sinyal PAM 5 diberi level 3

Sinyal PAM 6 diberi level 1

Sinyal PAM 7 diberi level 2

Sinyal PAM 8 diberi level 7 dst

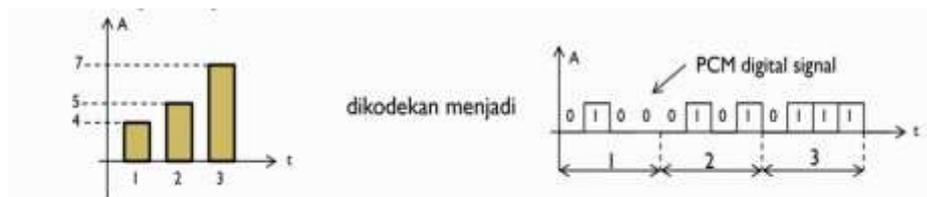
Besarnya level kuantisasi $N \rightarrow$ adalah $N = 2^n$

n = jumlah bit yang dikedokan untuk 1 sinyal sampler PAM

Misal 1 sinyal PAM dikodekan menjadi 4 bit, maka jumlah level kuantisasi $N = 2^4 = 14$

e. Coder

1 sinyal sampler PAM yang sudah dikuantisasi kemudian dikodekan menjadi n bit sinyal-sinyal PCM biner



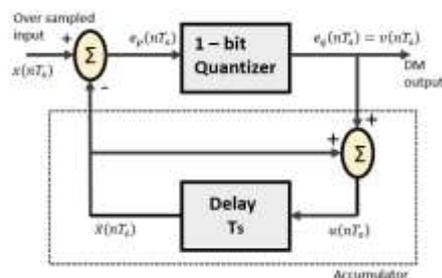
Bit rate = laju bit per detik = jumlah bit yang dikirim tiap detik.

f. Regenerasi

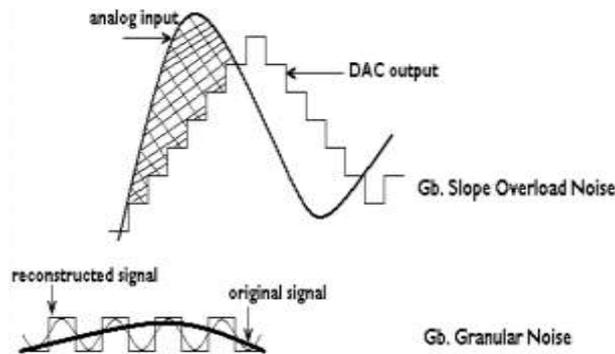
Selama transmisi, sinyal digital PCM mengalami redaman dan bercampur dengan noise transmisi, sehingga perlu diperbaiki sebelum proses pengkodean kembali dengan “regenerative repeater” (rangkainan penyegar sinyal).

3.2 Delta Modulation

Modulasi delta diperkenalkan pada tahun 1940-an sebagai bentuk sederhana dari *pulse code modulation* (PCM), yang memfasilitasi konversi sinyal analog kontinu menjadi sinyal digital melalui konverter analog-ke-digital (A/D). Teknik ini menggunakan komparator untuk membandingkan sinyal input analog dengan sinyal clock, menghasilkan serangkaian pulsa yang merepresentasikan perubahan amplitudo relatif terhadap sampel sebelumnya. Keluaran modulator delta berupa aliran bit dengan laju tinggi, misalnya 100 kbit/s atau lebih, cocok untuk mentransmisikan suara dengan lebar pita 4 kHz melalui medium digital dengan bantuan regenerator untuk mempertahankan kualitas sinyal.



Gambar 3. Delta Modulation



Gambar 5. Slope Overload Noise Dan Granular Noise

3.3 Analog to Digital Conversion

Proses di mana sinyal atau data analog dikonversi menjadi bentuk digital yang sesuai untuk pemrosesan, penyimpanan, atau transmisi. Ini sering terjadi dalam berbagai aplikasi di mana data analog perlu direpresentasikan dalam bentuk digital yang dapat dengan mudah dikelola oleh sistem komputer atau perangkat digital lainnya. ADC (analog to digital converter) adalah suatu perangkat elektronika yang mengubah suatu data yang kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data yang diskrit terhadap waktu (digital). Kontinu adalah proses berkesinambungan, dapat dianalogikan seperti jalanan yang menanjak, antara titik satu dengan yang berikutnya tidak terlihat nyata perbedaannya. Diskrit adalah kebalikan dari kontinu, dapat dianalogikan seperti anak tangga, lompatan satu anak tangga ke yang berikutnya terlihat nyata. ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran / pengujian. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan / berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital (komputer). Proses dasar yang terjadi dalam ADC dibagi menjadi 3 yaitu, pencuplikan, pengkuantisasian, dan pengkodean.

Pencuplikan adalah proses mengambil suatu nilai pasti (diskrit) dalam suatu data kontinu dalam satu titik waktu tertentu dengan periode yang tetap. Semakin besar frekuensi pencuplikan, berarti semakin banyak data diskrit yang didapatkan, maka semakin cepat ADC tersebut memproses suatu data analog menjadi data digital. Kuantisasi adalah proses pengelompokan data diskrit yang didapatkan pada proses pertama ke dalam kelompok-kelompok data. Kuantisasi, dalam matematika dan pemrosesan sinyal digital, adalah proses pemetaan nilai input seperti pembulatan nilai. Semakin banyak kelompok-kelompok dalam proses kuantisasi, berarti semakin kecil selisih data diskrit yang didapatkan dari data analog, maka semakin teliti ADC tersebut memproses suatu data analog menjadi data digital. Pengkodean adalah proses mengkodekan data hasil kuantisasi ke dalam bentuk digital (0/1) atau dalam suatu nilai biner. Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Sebagai contoh, bila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio input terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ (bentuk desimal) atau 10011001 (bentuk biner).

3.4 Line Coding

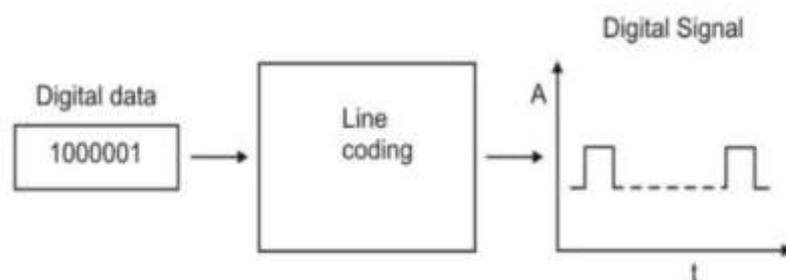
Sebuah proses dalam komunikasi digital di mana sinyal atau data digital diubah dari satu bentuk ke bentuk digital lainnya. Ini terjadi ketika data digital perlu diproses, disimpan, atau ditransmisikan dalam berbagai format digital yang berbeda. Contoh umum dari Digital to Digital Conversion termasuk teknik Line Coding dan Scrambling. Beberapa contoh dari teknik line coding termasuk Non-Return-to-Zero (NRZ), Return-to-Zero (RZ), Manchester, Differential Manchester, dan 8B/10B encoding. Setiap teknik memiliki karakteristiknya sendiri tergantung pada kebutuhan sistem komunikasi tertentu.

Line coding memastikan bahwa sinyal yang ditransmisikan memiliki beberapa kualitas penting, seperti:

1. Sinkronisasi: Membantu penerima dalam menentukan waktu mulai dan akhir setiap bit data.
2. Spektral Efficiency: Meningkatkan efisiensi penggunaan bandwidth spektrum frekuensi.
3. Deteksi Kesalahan: Memfasilitasi kemampuan penerima untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan transmisi.

Dengan menggunakan teknik line coding yang sesuai, sistem komunikasi dapat mentransmisikan data digital dengan kecepatan tinggi dan tingkat keberhasilan yang tinggi melalui berbagai saluran komunikasi.

Line coding mengacu pada proses mengubah data digital menjadi sinyal digital. Ketika data di transmisikan, data tersebut dalam bentuk sinyal digital. Dengan bantuan line coding, urutan bit dapat diubah menjadi sinyal digital yang kemudian diubah kembali menjadi bit oleh penerima (atau bisa dikatakan didekodekan oleh penerima). Untuk semua ini terjadi, kita membutuhkan skema line coding yang juga dapat menghindari tumpang tindih dan distorsi sinyal.

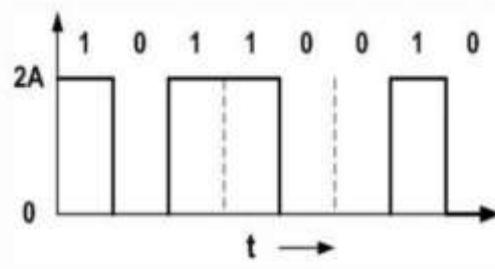


Gambar 6. Line coding

Line coding memiliki beberapa teknik antara lain:

a. Unipolar Line Coding

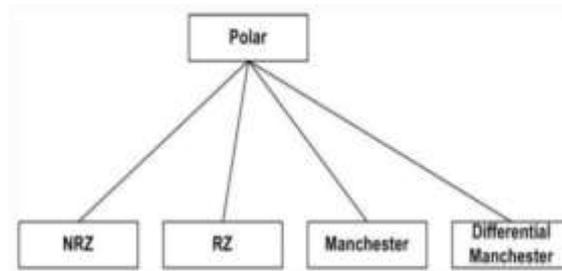
Unipolar line coding adalah metode dasar untuk mengkodekan data digital menggunakan satu level tegangan, di mana tegangan positif mewakili biner 1 dan tegangan 0 mewakili biner 0. Meskipun sederhana dan mudah diimplementasikan, serta efisien dalam penggunaan bandwidth, metode ini memiliki beberapa kelemahan. Kekurangannya termasuk adanya komponen DC yang tinggi, tidak adanya pembalikan sinyal yang menyulitkan sinkronisasi dengan clock pemancar, dan kerentanannya terhadap gangguan dan interferensi.



Gambar 7. Unipolar Line Coding

b. Polar Line Coding

Pendekatan pengkodean polar menggunakan dua level tegangan, satu positif dan satu negatif. Pengkodean polar memiliki keunggulan dalam mengurangi komponen DC dan meningkatkan ketahanan terhadap gangguan, tetapi memerlukan lebih banyak bandwidth dan lebih kompleks dalam implementasinya.



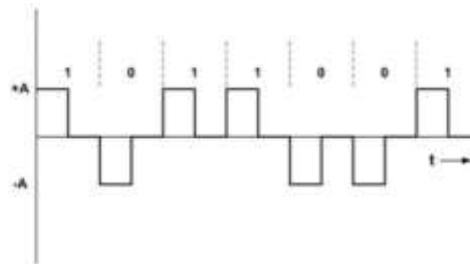
Gambar 8. Polar Line Coding

1) NRZ(Non-Return to Zero)

NRZ menunjukkan bahwa sinyal tidak kembali ke nol di tengah siklus bit (0 atau 1). Meskipun skema NRZ sering digunakan dalam pengkodean unipolar, teknik ini menghabiskan lebih banyak listrik dibandingkan metode polar NRZ karena daya yang diperlukan hampir dua kali lipat. Karena faktor-faktor ini, pengkodean unipolar tidak lagi umum digunakan dalam transfer data.

2) RZ(Return to zero)

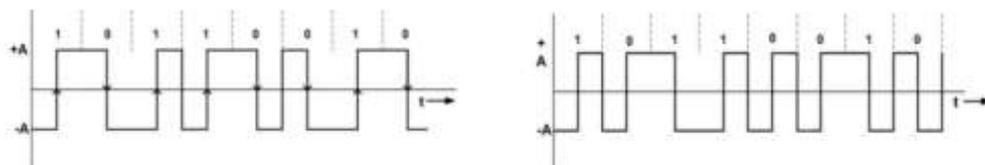
Pengkodean RZ menggunakan tiga nilai tegangan dan kembali ke nol setiap bit. Meskipun mengatasi beberapa kekurangan NRZ, RZ membutuhkan banyak bandwidth dan lebih rumit, sehingga sebagian besar telah digantikan oleh Manchester dan Differential-Manchester encoding.



Gambar 8. RZ(Return to zero)

3) Manchester Encoding dan Differential Manchester Encoding

Pengkodean Manchester dan Differential Manchester adalah kombinasi dari RZ dan NRZ, menggunakan dua nilai tegangan dan mengatasi banyak masalah NRZ. Pengkodean Manchester menggabungkan aspek NRZ-L, sedangkan Differential Manchester menggabungkan NRZ-I. Keduanya menghilangkan masalah baseline wandering, komponen frekuensi rendah, dan komponen DC. Namun, mereka memerlukan bandwidth dua kali lebih besar dibandingkan NRZ.



(1)

(2)

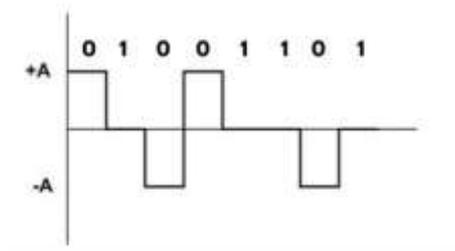
Gambar 9. (1) Manchester Encoding dan (2) Differential Manchester Encoding

c. Bipolar Line Coding

Pengkodean bipolar menggunakan tegangan positif, negatif, dan nol untuk merepresentasikan bit data, dengan bit satu bergantian antara tegangan positif dan negatif, dan bit nol diwakili oleh nol volt. Keuntungannya termasuk keseimbangan DC, pemanfaatan spektrum yang efisien, dan ketahanan terhadap gangguan. Namun, pengkodean ini lebih kompleks, memerlukan bandwidth lebih tinggi, dan dapat menimbulkan tantangan sinkronisasi.

1) Pseudoternary

Pseudoternary menjaga logika nol pada 0 volt atau netral. di bagian ini, logika satu sebagai netral (yaitu pada 0 volt) dan mengganti logika nol.

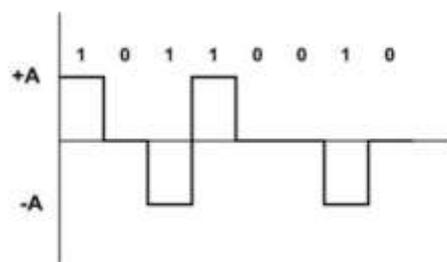


Gambar 10. Pseudoternary

Satu bit direpresentasikan oleh tegangan nol dan yang lainnya oleh tegangan bergantian, skema atau encoding bipolar terbukti menjadi alternatif yang layak untuk encoding NRZ karena memiliki tingkat sinyal yang sama dengan NRZ dan tidak memiliki komponen frekuensi rendah atau DC.

2) Alternate Mark Inversion(AMI)

Representasi disini mengikuti logika sederhana. Seperti yang ditunjukkan dalam grafik di bawah ini, kami menggunakan tegangan nol untuk mewakili logika nol dan tegangan positif dan negatif bergantian untuk mewakili logika satu.



Gambar 11. Alternate Mark Inversion (AMI)

3.5 Scrambling

Sebuah teknik dalam komunikasi digital yang digunakan untuk mengurangi efek dc bias dan memastikan adanya transisi yang cukup dalam sinyal yang dikodekan. Tujuan utama dari scrambling adalah untuk meningkatkan kemampuan sinkronisasi dan deteksi kesalahan pada penerima data. Proses scrambling biasanya terjadi setelah pengkodean line coding dilakukan. Setelah sinyal data dikodekan, dapat terjadi situasi di mana pola sinyal yang dihasilkan memiliki pola yang kurang bervariasi atau memiliki komponen DC (bias) yang signifikan. Hal ini dapat menyulitkan proses sinkronisasi di penerima, yang membutuhkan transisi yang cukup antara bit-bit data untuk menentukan batas waktu yang jelas antara bit-bit tersebut.

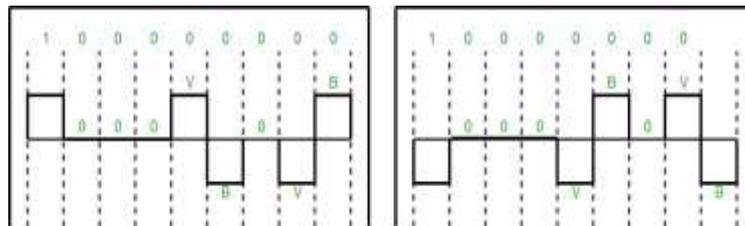
Dengan menerapkan teknik scrambling, pola sinyal yang dihasilkan dapat diacak atau dimodifikasi secara sistematis sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pola yang berulang

atau komponen DC yang dominan. Ini membantu meningkatkan kemampuan sinkronisasi di penerima dan memastikan bahwa transmisi data dapat diinterpretasikan dengan benar. Scrambling sering digunakan dalam berbagai standar transmisi data, termasuk Ethernet dan USB, untuk memastikan integritas dan keandalan transmisi data yang tinggi.

Scrambling adalah teknik yang digunakan untuk menciptakan urutan bit yang memiliki perubahan sinyal yang diperlukan untuk transmisi - self clocking, tanpa frekuensi rendah (tanpa DC), dan tanpa bandwidth yang lebar. Teknik ini diimplementasikan bersamaan dengan proses encoding, dimana bit stream dibuat secara langsung. Scrambling menggantikan urutan bit yang 'tidak ramah' dengan kode pelanggaran yang mudah dikenali. terdapat 2 teknik umum scrambling diantaranya:

a. B8ZS(Bipolar with 8-zero substitution)

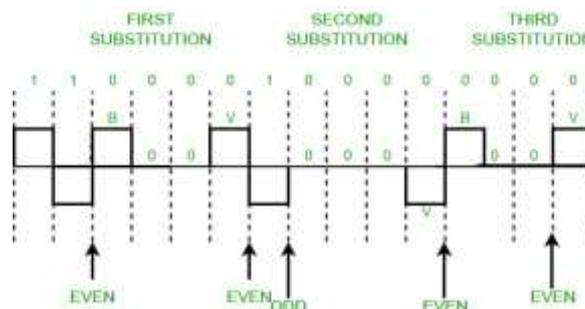
Teknik ini, mirip dengan Bipolar AMI, mengganti urutan delapan tegangan nol berturut-turut dengan "000VB0VB". V (Violation) adalah tegangan non-nol dengan polaritas yang sama seperti tegangan non-nol sebelumnya, melanggar aturan AMI. B (Bipolar) adalah level tegangan non-nol dengan polaritas yang berlawanan dengan tegangan non-nol sebelumnya, sesuai aturan AMI. V (Violation), adalah tegangan non-nol yang memiliki polaritas yang sama dengan tegangan non-nol sebelumnya.



Gambar 12. B8ZS(Bipolar with 8-zero substitution)

b. HDB3 (High-density bipolar 3-zero)

teknik encoding di mana empat tegangan nol berturut-turut diganti dengan urutan "000V" atau "B00V". Aturan penggunaannya adalah jika jumlah pulsa non-nol setelah substitusi terakhir adalah ganjil, maka digunakan pola "000V" untuk menjaga jumlah total pulsa non-nol tetap genap. Sebaliknya, jika jumlah pulsa non-nol setelah substitusi terakhir adalah genap, digunakan pola "B00V". Teknik ini memastikan bahwa jumlah pulsa non-nol tetap genap secara konsisten dalam sinyal yang dikodekan.

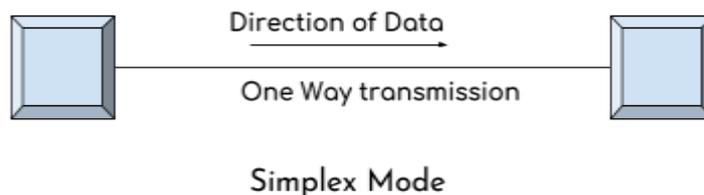


Gambar 13. HDB3 (High-density bipolar 3-zero)

3.6 Transmission Modes

Data ditransmisikan antara pengirim dan penerima dalam sistem komunikasi. Ini menentukan aturan dan kebijakan yang digunakan dalam mengirim dan menerima data. Ada tiga mode transmisi utama:

- a. Simplex: Dalam mode simplex, komunikasi hanya berlangsung dalam satu arah, dari pengirim ke penerima. Penerima hanya bertindak sebagai penerima dan tidak dapat mengirim tanggapan atau data kembali ke pengirim.
- b. Sebagai contoh dalam konteks hubungan keyboard/monitor, keyboard berperan sebagai sumber input yang hanya mentransmisikan data ke monitor. Monitor bertindak sebagai penerima data yang hanya mampu menerima dan menampilkan informasi yang diterima di layar, tanpa kemampuan untuk memberikan umpan balik atau respons kepada keyboard.



Gambar 14. Mode Simplex

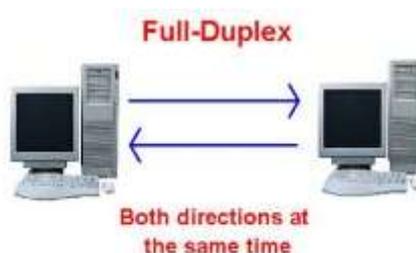
- c. Half-Duplex: Dalam mode half-duplex, komunikasi dapat terjadi dalam kedua arah, tetapi tidak secara simultan. Pengirim dan penerima dapat bertukar data, tetapi tidak pada saat yang bersamaan. Sebagai contoh, walkie-talkie dan saluran komunikasi radio umumnya menggunakan mode half-duplex.

Mode half-duplex dapat analogikan sebagai jalan satu arah di mana kendaraan yang bergerak berlawanan harus menunggu hingga jalan kosong sebelum dapat melintas. Sebagai contoh, dalam penggunaan walkie-talkie, kedua pembicara dapat melakukan komunikasi, namun hanya satu yang dapat berbicara pada waktu yang sama. Mereka tidak dapat berbicara secara simultan.



Gambar 15. Mode Half-Duplex

- d. Full-Duplex: Dalam mode transmisi full-duplex, pengirim dan penerima dapat mentransmisikan dan menerima data secara bersamaan, mirip dengan lalu lintas dua arah di jalan raya. Contohnya, dalam percakapan telepon, kedua belah pihak dapat berbicara dan mendengarkan secara serentak. Koneksi full-duplex memungkinkan aliran data dalam kedua arah secara simultan, dengan pembagian bandwidth untuk setiap arah transmisi data menggunakan medium yang sama.



Gambar 16. Full-Duplex

- e. Pemilihan mode transmisi yang tepat tergantung pada kebutuhan aplikasi dan sifat komunikasi yang diinginkan. Misalnya, aplikasi yang memerlukan komunikasi real-time dan interaksi dua arah mungkin memilih mode full-duplex, sementara aplikasi yang hanya memerlukan pengiriman data dalam satu arah mungkin memilih mode simplex.

4. KESIMPULAN

Studi ini menggambarkan perbandingan antara teknologi komunikasi digital dan analog serta implikasinya terhadap berbagai aplikasi teknologi modern. Dalam konteks ini, teknologi komunikasi digital menonjol dengan keunggulan dalam kejernihan, keandalan, dan kemudahan dalam pengolahan data. Sementara itu, teknologi komunikasi analog mempertahankan relevansinya dalam aplikasi tertentu seperti transmisi audio dan beberapa aplikasi sensorik yang membutuhkan respons cepat dan kontinuitas sinyal.

Penggunaan teknologi komunikasi digital telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam kecepatan dan efisiensi data, yang mendukung perkembangan internet, telekomunikasi, dan sistem sensor jaringan (sensor networks) yang semakin kompleks. Dalam hal ini, transformasi digital telah menjadi pendorong utama untuk inovasi dalam berbagai industri, meningkatkan kemampuan untuk menyediakan layanan yang lebih cepat dan lebih terintegrasi kepada pengguna akhir. Namun demikian, teknologi komunikasi analog tetap penting dalam beberapa aplikasi khusus di mana sifat kontinu sinyal dan respons real-time dibutuhkan, seperti dalam sistem kontrol industri, pemrosesan sinyal analog, dan beberapa sistem audio dan video.

Secara keseluruhan, perbandingan antara teknologi komunikasi digital dan analog menunjukkan bahwa perkembangan teknologi digital telah menggantikan banyak aplikasi tradisional yang menggunakan teknologi analog, namun ada juga ruang untuk keduanya berdampingan dalam mendukung berbagai kebutuhan komunikasi dan teknologi modern. Dengan terus berkembangnya teknologi, penting untuk terus memantau dan mengoptimalkan penerapan kedua teknologi ini agar dapat memenuhi tantangan dan peluang di masa depan.

REFERENCES

- Wisnubhadra Irya. *Informatika Untuk SMA Kelas XI*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, 2021.
- Minardi. *Modul Pembelajaran SMA Fisika*. Bekasi: Kemendikbud, Direktorat Jenderal PAUD, DIKDAS, DIKMEN, 2020.
- Asari Andi, dkk. *Komunikasi Digital*. Klaten: Lakeisha, 2023.
- Sigit Kusmaryanto, Analisis Distorsi Pentransmisi Sinyal PCM (Pulse Code Modulation) 30/32 Pada Saluran Telepon Tetap Yang Berperilaku Sebagai LPF (Low Pass Filter), *Jurnal Universitas Brawijaya*, 2021.
- Muhammad Adam, Partaonan Harahap, Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi, *Jurnal Teknik Elektro*, 2020.
- Goldsmith, A. (2020). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2020). *Fundamentals of Communication Systems*. Pearson.
- Li, Y., & Stuber, G. L. (2021). *Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications*. Springer.
- Rappaport, T. S. (2019). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Pearson.
- Lu, J., & Xu, Y. (2020). *Digital Signal Processing and Applications*. Springer.
- Zhang, Q., & Li, J. (2021). *5G Wireless Systems*. Springer.
- Tse, D., & Viswanath, P. (2020). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press.
- Huang, Y., & Wu, K. (2021). *Millimeter Wave Communication Systems*. Wiley.
- Molisch, A. F. (2021). *Wireless Communications*. Wiley.
- He, S., & Zhang, H. (2020). *Next-Generation Wireless Systems and Networks*. Springer.