

## MODULASI PULSA

### Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai konsep dasar modulasi pulsa

### Kompetensi Dasar

Modulasi kode pulsa, modulasi lebar pulsa, modulasi delta, dan pulse position modulation

### Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep dasar modulasi pulsa

### Uraian Materi

Modulasi pulsa pada dasarnya adalah teknik pengubahan sinyal analog ke digital. Keuntungan modulasi ini dibanding modulasi analog di antaranya adalah

- Lebih tahan terhadap noise
- Jarak transmisi dapat ditingkatkan melalui penggunaan regenerative repeater
- Deteksi dan koreksi error lebih mudah
- Implementasi rangkaian digital tidak mahal
- Pulsa digital dapat disimpan

Sedangkan kelemahan dari modulasi pulsa adalah:

- Memerlukan bandwidth yang lebih lebar
- Perlu adanya sinkronisasi yang presisi pada demodulator

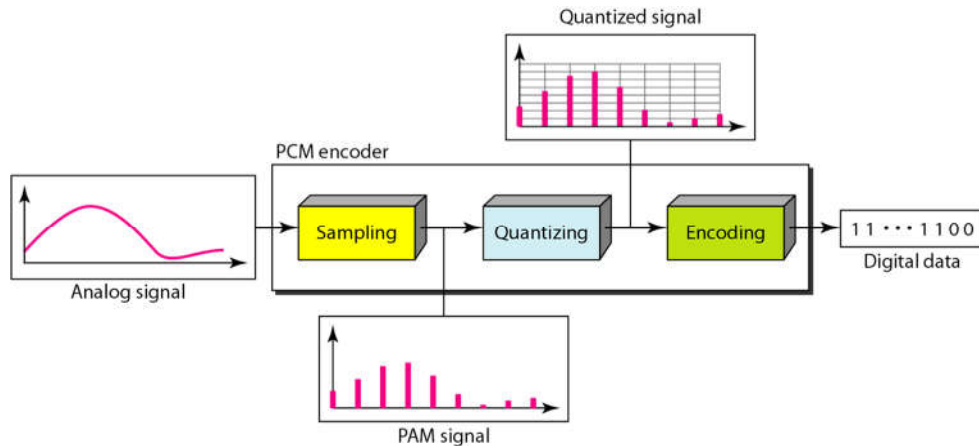
Empat contoh modulasi pulsa yang akan dijelaskan dalam buku ini, meliputi modulasi kode pulsa atau PCM, modulasi lebar pulsa atau PWM, modulasi posisi pulsa atau PPM, dan modulasi delta.

### 5.1 Modulasi Kode Pulsa (Pulse Code Modulation - PCM)

Awal mula PCM dibangun pada tahun 1937 pada Laboratorium AT&T di Paris oleh Alex H. Reeves. Hingga saat ini, PCM merupakan jenis modulasi pulsa yang paling banyak digunakan. Implementasi utama PCM adalah pada jaringan telepon rumah *Public Switch Telephone Network* (PSTN).

Terdapat tiga langkah kerja PCM, yaitu sampling, kuantisasi, dan coding,

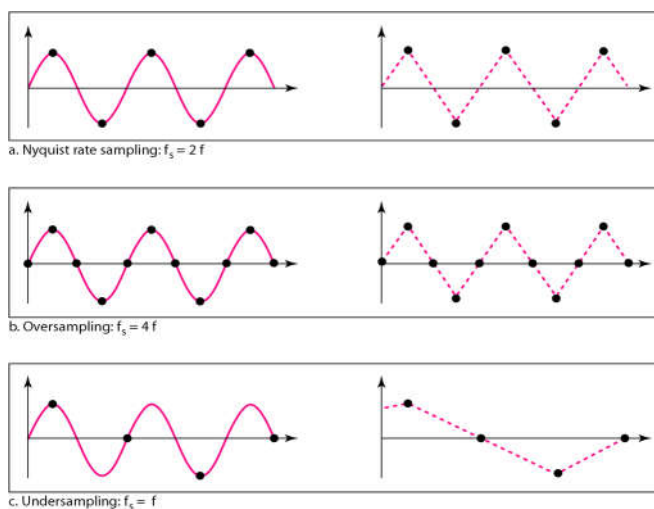
seperti yang terlihat pada Gambar 5. 1



**Gambar 5. 1 Proses PCM**

#### - Sampling

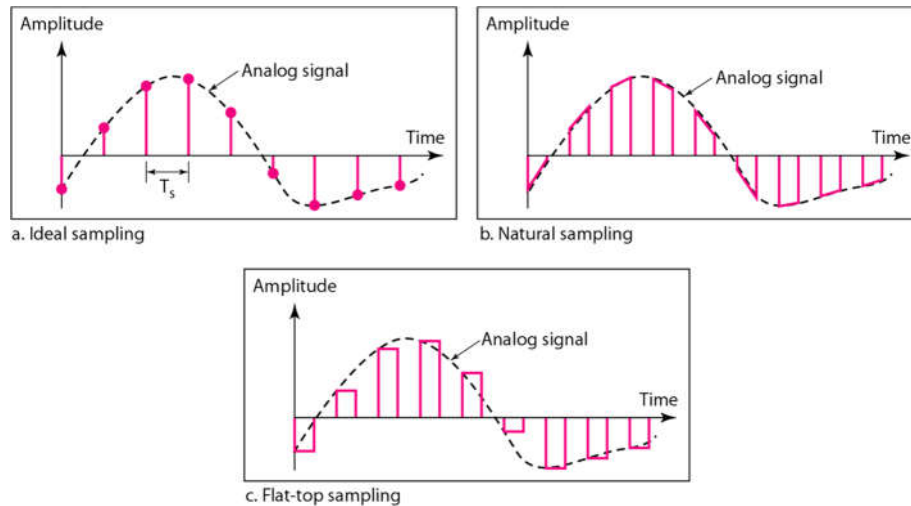
Pada proses ini, sinyal analog akan dicuplik pada interval tertentu untuk menentukan tegangan sesaat pada interval tersebut. Proses sampling disebut juga dengan Pulse Amplitude Modulation. Teori Nyquist menjadi syarat dari proses ini, dimana untuk mendapatkan sinyal hasil sampling yang baik, frekuensi sampling minimal harus sebesar dua kali frekuensi tertinggi dari informasi. Hal ini bertujuan supaya sinyal tersebut dapat direkonstruksi dengan baik. Misalnya, sinyal informasi dengan frekuensi 500 Hz sebaiknya disampling dengan minimum frekuensi 1000 Hz. Semakin tinggi frekuensi sampling, sinyal dapat direkonstruksi semakin mirip dengan sinyal aslinya, seperti terlihat pada Gambar 5. 2.



**Gambar 5. 2 Ilustrasi Sampling**

Gambar 5. 3 menunjukkan tiga tipe metode sampling. Pada metode sampling

ideal, titik sampling merupakan sinyal impuls dengan amplitude puncak mengikuti amplitude sinyal informasi yang disampling. Pada natural sampling, sampling berupa sinyal dengan durasi seragam tertentu dan amplitude mengikuti amplitude sinyal informasi, sedangkan amplitude sinyal sampling pada jenis flat top sampling rata tidak mengikuti bentuk sinyal informasi.



**Gambar 5.3 Metode Sampling**

#### - Kuantisasi

Kuantisasi merupakan proses pembagian amplitude sinyal menjadi level diskrit tertentu. pada proses ini, terdapat istilah level dan range kuantisasi yang nilainya bergantung pada resolusi (jumlah bit) ADC yang digunakan. Range kuantisasi =  $2^n$ , di mana  $n$  adalah jumlah bit ADC, dan Level kuantisasi: dari 0 sampai  $2^n - 1$ . Lebar zona kuantisasi adalah lebar amplitude sinyal sesuai dengan level yang digunakan.

#### Contoh

Misalnya terdapat sinyal sinusoida dengan amplitude minimum  $v_{min} = -20V$  dan  $v_{max} = 20V$ . Range kuantisasi ( $R$ ) yang digunakan adalah 8.

Lebar zona kuantisasi adalah

$$\Delta = \frac{v_{max} - v_{min}}{R} = \frac{20 - (-20)}{8} = 5$$

Terdapat 8 zona (sesuai level), yaitu:

–20 s.d. –15, –15 s.d. –10, –10 s.d. –5,  
 –5 s.d. 0, 0 s.d. 5, 5 s.d. 10, 10 s.d. 15, 15 s.d. 20

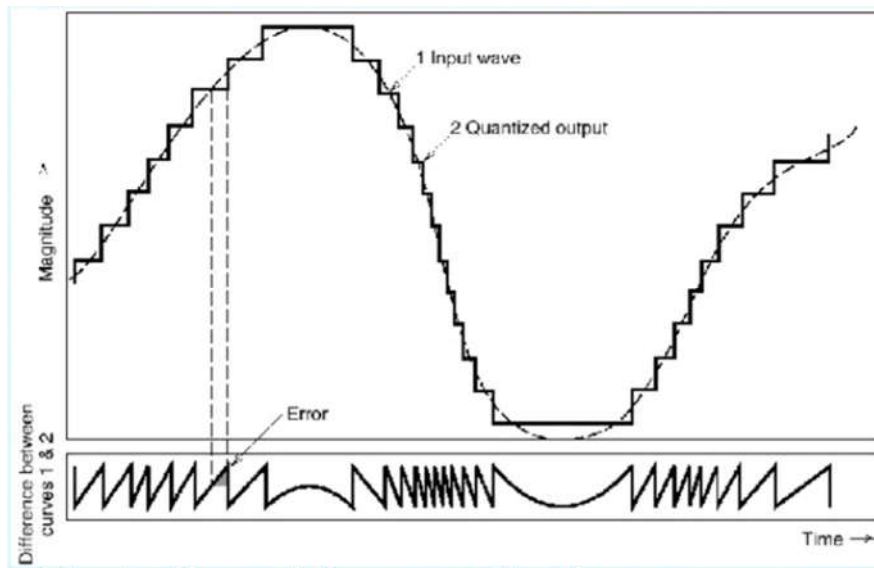
Titik tengah kuantisasi adalah: –17.5, –12.5, –7.5, –

2.5, 2.5, 7.5, 12.5, 17.5

Perbedaan nilai antara nilai sebenarnya dengan nilai tengah kuantisasi disebut dengan error kuantisasi. Semakin banyak zona kuantisasi, semakin kecil  $\Delta$ , sehingga semakin kecil error. Semakin banyak zona semakin banyak bit yang dibutuhkan untuk pengkodean, sehingga meningkatkan bit rate. Nilai SNR dipengaruhi oleh error kuantisasi ini, yaitu

$$SNR = 1.76 + 6.02n \text{ dB}$$

dengan  $n$  adalah jumlah bit kuantisasi. Ilustrasi proses kuantisasi dan error kuantisasi diperlihatkan pada Gambar 5. 4.



**Gambar 5. 4 Ilustrasi Kuantisasi**

- Coding

Proses terakhir adalah coding, yaitu pengkodean masing-masing zona kuantisasi. Jumlah bit yang dibutuhkan dalam coding didapat dari

$$n = \log_2 R$$

dengan  $n$  =jumlah bit dalam proses coding, dan  $R$  adalah range kuantisasi

Bit rate dapat dihitung dari sinyal hasil coding dipengaruhi oleh frekuensi sampling  $f_s$  dan jumlah bit ADC yang digunakan  $n$ .

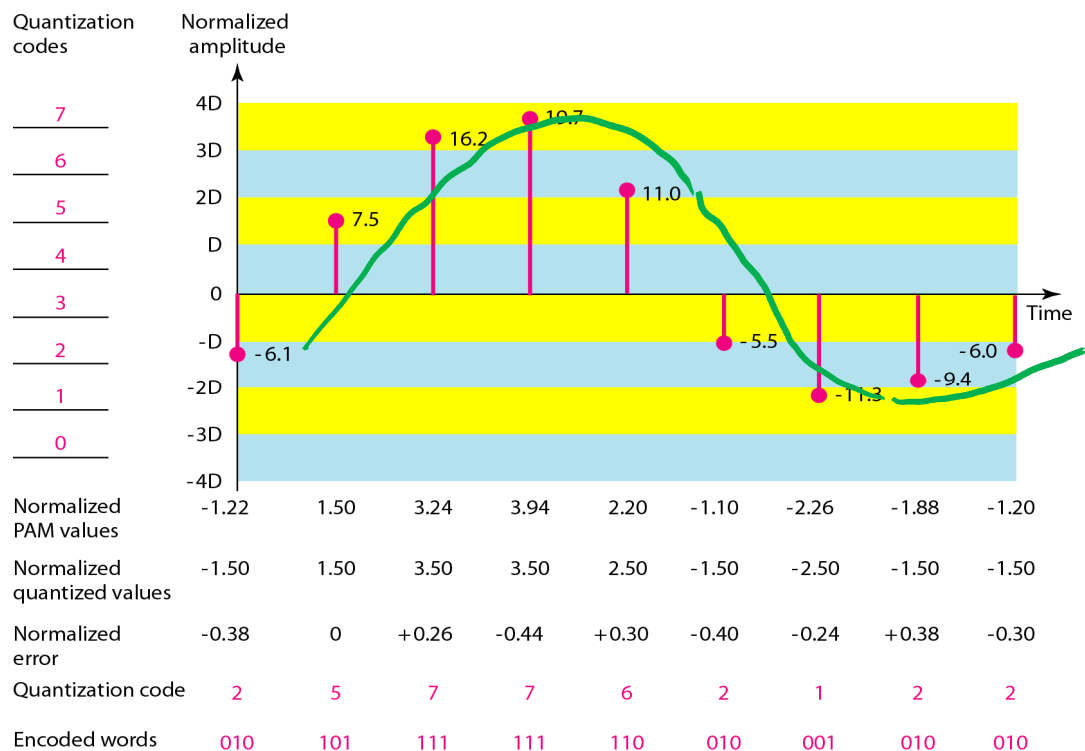
$$\text{bit rate} = f_s \times n$$

Kebutuhan bandwidth PCM dapat dihitung dari bit ADC  $n$  dan frekuensi informasi  $f_m$ .

$$B = n f_m$$

Proses PCM secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 5. 5. Sinyal asli (berwarna hijau) disampling dengan jenis sampling ideal menghasilkan sinyal PAM berwarna merah. Nilai normalisasi PAM dikurangkan dari nilai normalisasi kuantisasi menjadi nilai normalisasi error.

Kuantisasi dilakukan dengan tiga bit ADC dan delapan range, dengan level mulai dari nol sampai tujuh. Kode kuantisasi menunjukkan level dimana amplitudo sinyal PAM berada. Hasil pengkodean merupakan bentuk biner dari kode kuantisasi menggunakan tiga bit ADC.



Gambar 5. 5 Ilustrasi PCM

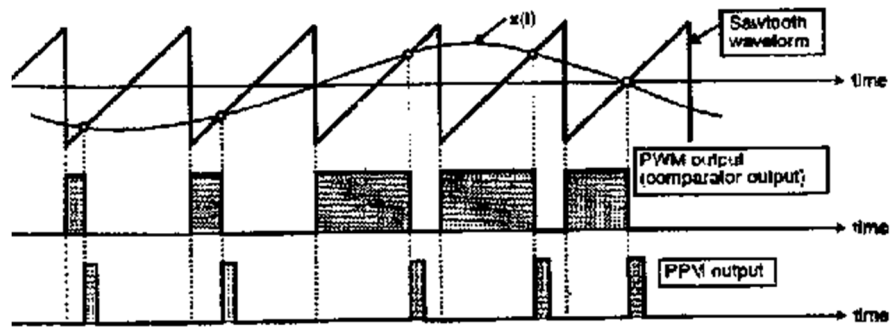
## 5.2 Modulasi Lebar Pulsa (Pulse Width Modulation - PWM)

PWM adalah jenis modulasi dengan sinyal informasi berupa analog, sedangkan sinyal termodulasi PWM berupa pulsa, dimana lebar pulsa berubah sesuai dengan amplitudo sinyal informasi. Perubahan hanya terjadi pada lebar pulsa, tetapi amplitudo dan posisi awal pulsa tetap

## 5.3 Pulse Position Modulation (PPM)

Berbeda dengan PWM, pada PPM, posisi pulsa berubah sesuai dengan amplitudo sinyal informasi, tetapi lebar dan amplitudo pulsa tetap. Gambar 5. 6 menggambarkan perbedaan antara PWM dan PPM, dengan sinyal informasi

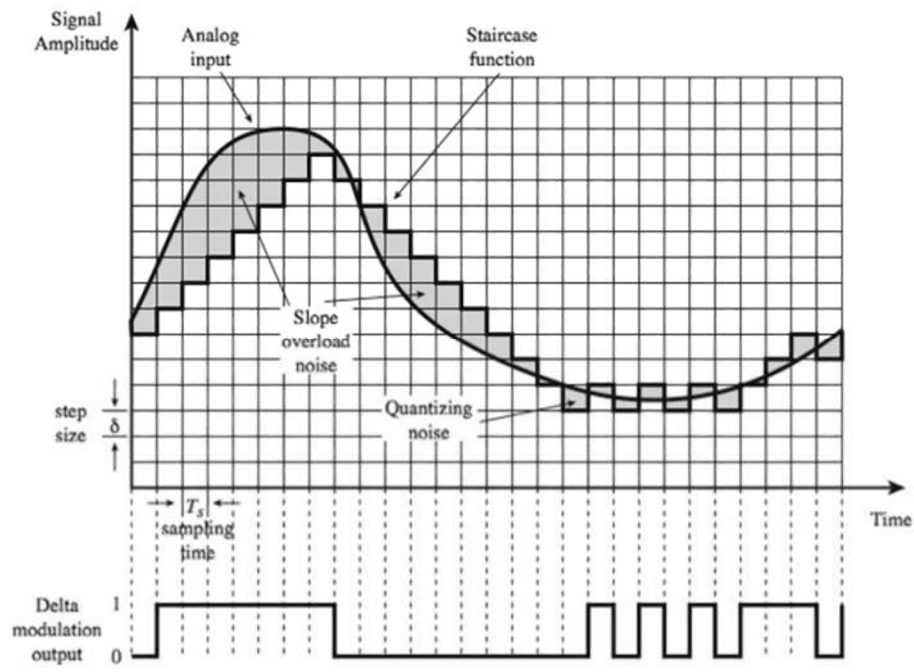
berupa sinyal gergaji.



**Gambar 5. 6 Perbedaan PWM dan PPM**

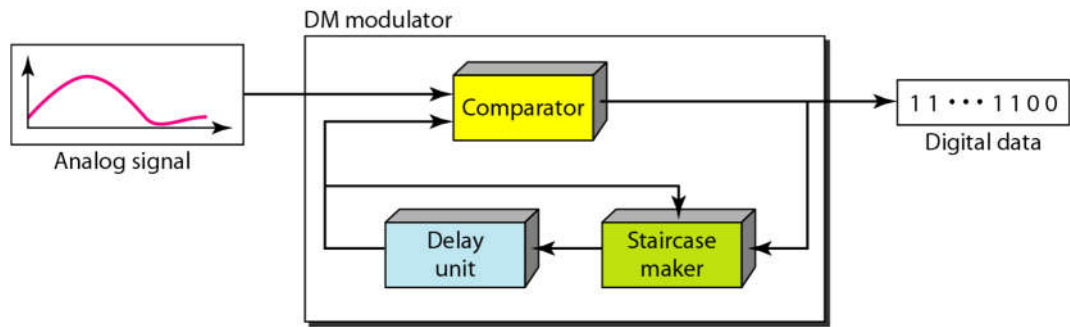
#### 5.4 Modulasi Delta

Modulasi delta pada prinsipnya sama seperti ADC, yaitu mengubah sinyal analog menjadi deretan biner 0 dan 1 sesuai rate sampling. Jika amplitudo sinyal lebih dari sampling sebelumnya, output modulator = 1. Jika amplitudo sinyal kurang dari sampling sebelumnya, output modulator = 0. Proses modulasi delta digambarkan pada Gambar 5. 7. Sinyal informasi analog didekati dengan fungsi anak tangga untuk menentukan hasil sinyal termodulasi delta, berupa deret data biner.

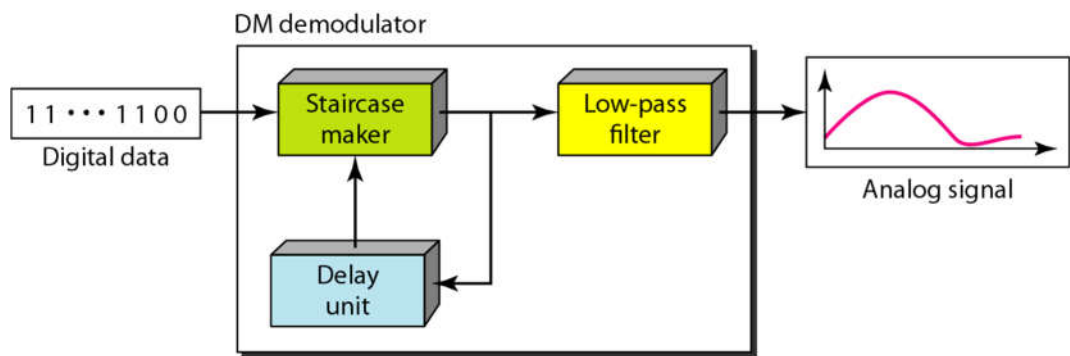


**Gambar 5. 7 Proses modulasi delta**

Proses modulasi-demodulasi yang terjadi ditunjukkan dengan blok diagram pada Gambar 5. 8.

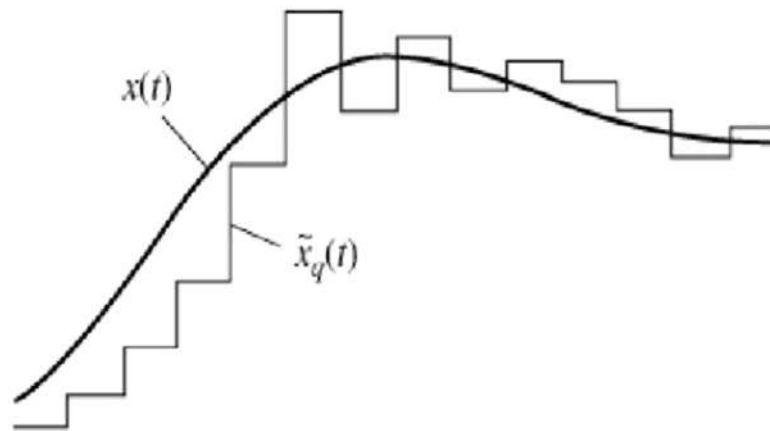


(a)



(b)

**Gambar 5. 8 Diagram (a) Modulator dan (b) Demodulator Modulasi Delta**



**Gambar 5. 9 Modulasi Delta Adaptif**

Jika pada modulasi delta biasa tinggi anak tangga seragam, pada modulasi delta adaptif, tinggi tidak seragam tetapi bergantung pada nilai amplitude sinyal informasi. Semakin besar tingkat kemiringan sinyal, ketinggian sinyal juga akan semakin tinggi.

### Latihan

1. Jelaskan tiga proses PCM!
2. Apa perbedaan antara PPM dan PWM?

3. Apa perbedaan antara modulasi delta dan modulasi delta adaptif?
4. Sebutkan tiga keuntungan modulasi pulsa!
5. Apa saja kelemahan dari modulasi pulsa?

### **Rangkuman**

Prinsip modulasi pulsa sama dengan ADC, yaitu mengubah sinyal analog menjadi bentuk digital, baik dalam biner 1 dan 0 maupun dalam pulsa. Terdapat empat jenis modulasi pulsa, yaitu PCM, PPM, PWM, dan modulasi delta.