



**Telkom**  
University

# **Pengantar Teknik Telekomunikasi (PTT)**

**Pertemuan 12 : Pengantar Modulasi  
Digital**

**Oleh : Team Dosen PTT S1-TT**

**Versi : Maret 2020**

## Tujuan yang ingin dicapai pada pertemuan ini

- 1 Mahasiswa mengetahui tujuan dan motivasi dari penggunaan modulasi digital
- 2 Mahasiswa mengetahui macam-macam modulasi digital dan parameter-parameternya

### Disclaimer:

Gambar-gambar foto dalam slide ini diperoleh dari Internet, dan **copyright** pada **pemiliknya masing-masing**. Pemakaian pada slide ini hanya untuk keperluan ilustrasi.

# Daftar Isi

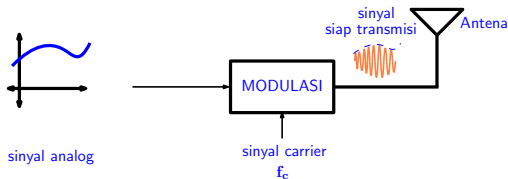
- 1 Pendahuluan
- 2 Line Coding
- 3 Modulasi Digital

# Pendahuluan

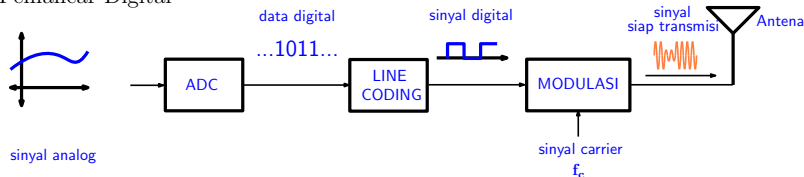
- Pada slide 11 telah dibahas modulasi analog
- Pada slide 08 telah dijelaskan pula tentang teknologi telekomunikasi menuju ke era digital, dan untuk tahapan tersebut diperlukan teknik digitalisasi sinyal analog ke digital dengan ADC
- Pada slide ini akan dibahas pengantar tentang modulasi digital untuk mengirimkan sinyal digital secara **wireless**.
- Tonton video pendukung MK:  
Prinsip dasar modulasi digital :  
<https://www.youtube.com/watch?v=qGwUOvErR8Q>

# Perbandingan Blok Diagram Dasar Pemancar Analog dan Digital

Blok Diagram Pemancar Analog



Blok Diagram Pemancar Digital

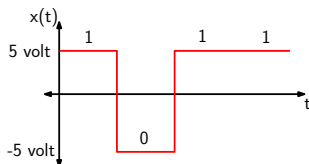


# Perbandingan Blok Diagram Dasar Pemancar Analog dan Digital

- Secara prinsip, blok diagram pemancar analog sederhana dengan terdiri dari modulasi
- Blok pemancar digital memerlukan ADC untuk mengkonversi  **sinyal analog**  ke  **data digital (1011...)**
- Line Coding berguna untuk mengkonversi  **data digital**  ke  **sinyal digital** .
- Modulasi dilakukan untuk menaikkan frekuensi sinyal sehingga dapat ditransmisikan dengan  **efisien**  oleh antena.

## Line Coding

- 1 Line Coding adalah proses untuk mengubah data digital berupa deretan 1 dan/atau 0 menjadi sinyal digital (tegangan listrik fungsi waktu)
- 2 **Sinyal digital** adalah tegangan listrik sebagai fungsi waktu dengan amplitudo pada nilai-nilai tertentu yang merepresentasikan **bit 1** atau **0**.
- 3 Sebagai contoh, jika **Line Coding** mengkodekan **bit 1** dengan tegangan **+5 volt** dan bit 0 dengan tegangan **-5 volt**, maka data digital '1011' sebagai contoh akan direpresentasikan dengan sinyal digital:



# Line Coding

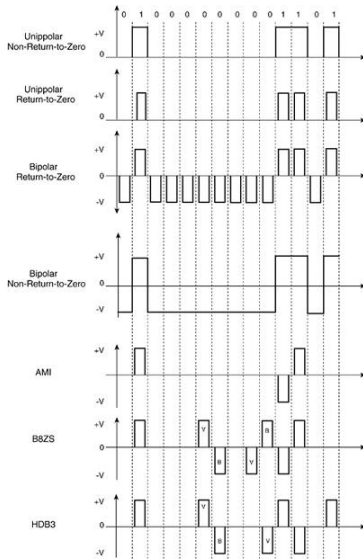
- 1 Tentu saja ada **banyak cara** untuk **representasikan data** digital ke dalam sinyal digital
- 2 Tidak mesti tegangan +5 untuk bit 1 dan -5 untuk bit 0
- 3 Yang penting adalah kesepakatan 1 direpresentasikan ke apa dan 0 direpresentasikan dengan apa.
- 4 Sebagai contoh, dapat juga disepakati +5 volt sebagai bit 1 dan 0 volt sebagai bit 0.
- 5 Atau **10 volt** bit **1** dan **3 volt** bit **0**.
- 6 Materi tentang line coding dipelajari lebih lanjut pada MK **Sistem Komunikasi**



## Macam-macam Line Coding

- 1 Terdapat beberapa macam line coding: **Unipolar Non Return To Zero - Unipolar NRZ, Unipolar Return To Zero - Unipolar RZ, Bipolar Non Return To Zero - Bipolar NRZ, Manchester, Alternate Mark Inversion (AMI), ...**
- 2 **Line coding** bermacam-macam ini memiliki karakteristik berbeda-beda, antara lain terkait bandwidth dan daya.

# Macam-macam Line Coding - Ilustrasi



## Catatan tentang Line Coding

- 1 Untuk keperluan transmisi digital wireless, langkah **Line Coding** dapat dilewati. Dengan kata lain, **Line Coding tidak mesti ada**. Dari data digital **0** dan **1** langsung masuk ke blok modulasi.
- 2 Pada transmisi dari satu titik ke titik lain, maka **Line Coding** bersifat wajib ada, karena transmisi data **biner 0** dan **1** harus melalui proses ke konversi tegangan.
- 3 Transmisi digital memiliki **kelebihan** dibandingkan dengan transmisi analog, karena secara umum, transmisi digital lebih kuat terhadap derau.
- 4 Pada modulasi digital, kita dapat asumsikan **Unipolar NRZ** yang digunakan.

# Modulasi Digital

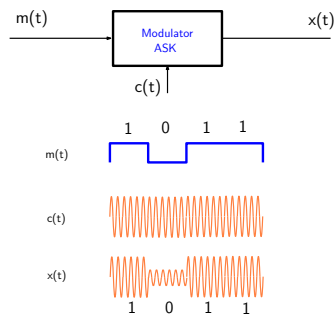
Terdapat beberapa modulasi digital yang penting antara lain, yaitu:

- 1 Amplitude Shift Keying (**ASK**)
- 2 Frequency Shift Keying (**FSK**)
- 3 Phase Shift Keying **PSK**

Untuk meningkatkan efisiensi transmisi, peneliti menggunakan modulasi kombinasi dari ketiga bentuk di atas, sebagai contoh, Modulasi Digital **QAM** adalah kombinasi dari modulasi **ASK** dan modulasi **PSK**.

# Modulasi Digital ASK

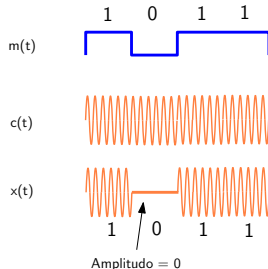
- 1 Pada modulasi ASK, **data informasi** berupa data digital dalam deretan 1 dan 0.
- 2 Sinyal carrier berupa **sinusoidal** dengan frekuensi carrier  $f_c$
- 3 Sinyal keluaran modulasi adalah sinyal carrier yang **amplitudonya** berbeda untuk bit 0 dan bit 1.
- 4 **Contoh: amplitudo 5** untuk bit 1 dan **amplitudo 1** untuk bit 0.



# Modulasi Digital ASK

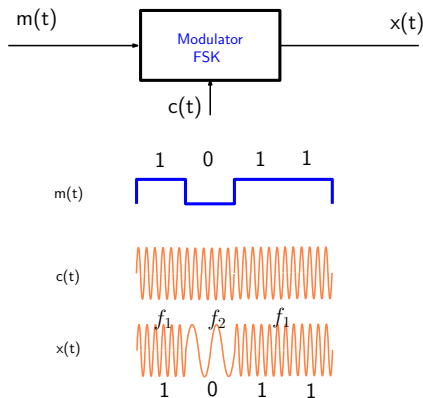
- 1 Terlihat bahwa Modulasi ASK memberikan perbedaan pada amplitudo sinyal hasil modulasi.
- 2 Untuk realisasi yang paling mudah dari ASK adalah, **amplitudo tinggi** untuk bit 1 dan **amplitudo 0** untuk bit 0.
- 3 Dengan menggunakan amplitudo 0 pada bit 0 (atau pada salah satu bit), maka modulasi ASK disebut juga dengan modulasi **On-Off Keying (OOK)**

Ilustrasi modulasi OOK



## Modulasi Digital FSK

- 1 Pada modulasi FSK, frekuensi dari sinyal pembawa berubah sesuai dengan deretan bit **1** dan **0** dari sinyal informasi.
- 2 **Contoh: Frekuensi  $f_1$  untuk bit 1 dan Frekuensi  $f_2$  untuk bit 0.**

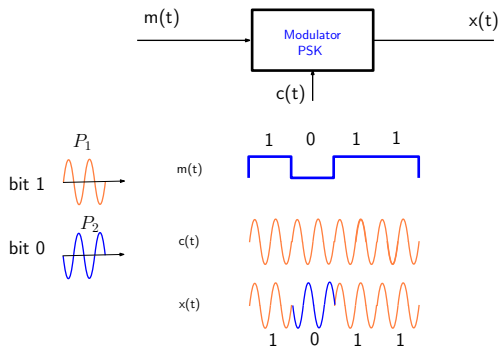


## Modulasi Digital FSK

- 1 Jika pada modulasi **ASK**, frekuensi carrier tidak berubah namun amplitudonya berubah, maka pada modulasi **FSK**, **frekuensi** carrier **berubah** namun sebaliknya, **amplitudonya tidak berubah**.
- 2 Pada modulasi **ASK** (khususnya OOK), modulasi dapat dilakukan dengan menggunakan switching **on** dan **off**, maka modulasi FSK dilakukan dengan membangkitkan dua carrier dengan frekuensi  $f_1$  dan  $f_2$ , dan modulasi dilakukan dengan mengatur saklar ke posisi carrier yang sesuai dengan deretan sinyal informasi.
- 3 Untuk proses demodulasi, **ASK** umumnya lebih mudah dibandingkan dengan **FSK**, karena dapat menggunakan teknik **threshold** amplitudo.



- 1 Pada modulasi PSK, fasa dari sinyal pembawa berubah sesuai dengan deretan bit **1** dan **0** dari sinyal informasi.
- 2 Diperlukan dua fasa dari gelombang, yaitu fasa yang berkorespondensi dengan **bit 1** dan fasa yang berkorespondensi dengan **bit 0**.
- 3 Contoh gelombang dengan dua fasa berbeda dan contoh modulasi PSK:

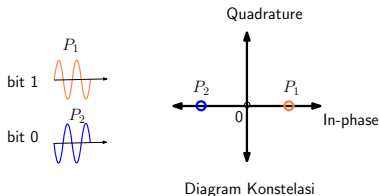


## Modulasi PSK

- 1 Pada slide sebelumnya, **bit 1** diwakili dengan sinyal sinusoidal dengan **fasa awal**  $0^0$  (sinyal dari nol, naik, mencapai maksimum, turun, dan seterusnya.). Sinyal sinusoidal ini dikatakan berfasa  $P_1$ .
- 2 Bit 0 diwakili dengan sinusoidal dengan **fasa awal**  $180^0$  (Sinyal dari 0 turun ke minimum, kemudian naik dan seterusnya). Sinyal sinusoidal ini dikatakan berfasa  $P_2$ .
- 3 Bersama dengan FSK, modulasi PSK memiliki amplitudo yang sama. Jika pada modulasi analog, modulasi **PM lebih sulit dibedakan dari modulasi FM**, maka pada modulasi digital, **modulasi PSK lebih mudah dibedakan dari modulasi FSK**.
- 4 Dari sisi kemudahan demodulasi, **modulasi PSK lebih mudah didemodulasi** dibandingkan dengan **modulasi FSK**.

## Diagram konstelasi pada modulasi PSK

- 1 Pada modulasi PSK, terdapat 2 fasa yaitu fasa  $P_1$  dan fasa  $P_2$  yang berkorespondensi dengan **bit 1** dan **bit 0**.
- 2 Jika dimisalkan fasa  $P_1$  dimulai dengan gelombang sinusoidal berfasa awal '0<sup>0</sup>', dan  $P_2$  berfasa awal '180<sup>0</sup>', maka kedua fasa ini dapat digambarkan pada diagram konstelasi seperti di bawah ini.



- 3 Sumbu datar disebut juga sumbu riil (atau In-Phase : I), sumbu tegak disebut juga sumbu imajiner ( Quadrature : Q)

## Diagram konstelasi pada modulasi PSK

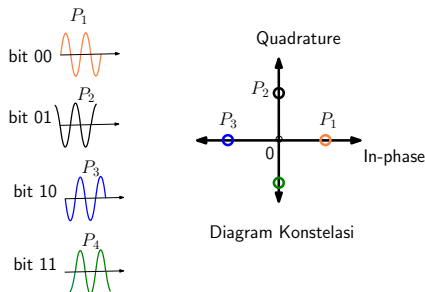
- 1 Tentu saja posisi  $P_1$  dan  $P_2$  tidak mesti berada di sumbu I.
- 2  $P_1$  dan  $P_2$  terletak berseberangan dan berjarak sama dari pusat koordinat O.
- 3 Jarak dari O ke  $P_1$  dan O ke  $P_2$  sama dengan amplitudo sinyal carrier. Dengan kata lain, jika amplitudo carrier adalah 2 volt, maka jarak OP adalah 2.
- 4 Diagram konstelasi adalah cara termudah untuk menjelaskan skema modulasi PSK yang kita pakai.

## Meningkatkan Efisiensi modulasi PSK dengan m-Ary PSK

- 1 Pada contoh modulasi **PSK** sebelumnya, kita memodulasi **1 bit** dengan **satu fasa**.
- 2 Untuk meningkatkan efisien, kita dapat langsung memodulasi **2 bit** langsung dengan **satu fasa**.
- 3 Lambang untuk 2 bit ada 4 kemungkinan yaitu **00, 01, 10** dan **11**.
- 4 Untuk memodulasi 4 lambang ini diperlukan 4 fasa berbeda ( $P_1, P_2, P_3$ , dan  $P_4$ ) dari gelombang sinusoidal.
- 5 Misalkan Fasa  $P_1, P_2, P_3$ , dan  $P_4$  berkorespondensi dengan **00, 01, 10**, dan **11**
- 6 Dengan 4 fasa ini, maka transmisi menjadi efisien, karena deretan data digital : **1011** dapat dikirim dengan mengirim  $P_3$  (mewakili **10**) diikuti dengan mengirim  $P_4$  (mewakili **11**)
- 7 Diagram konstelasi dari 4 fasa di halaman berikutnya.

# Meningkatkan Efisiensi modulasi PSK dengan m-Ary PSK

- 1 diasumsikan fasa  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , dan  $P_4$  berkorespondensi dengan fasa  $0^0$ ,  $90^0$ ,  $180^0$ , dan  $270^0$
- 2 Asosiasi bit dan fasa serta Diagram Konstelasi 4 Fasa:



# Meningkatkan Efisiensi modulasi PSK dengan m-Ary PSK

- 1 Modulasi dengan menggunakan 4 fasa ini (memodulasi langsung 2 bit) disebut dengan **Quartenary PSK** atau **4-Ary PSK** atau populer diistilahkan dengan **QPSK**.
- 2 Sedangkan sebelumnya memodulasi dengan 2 fasa (memodulasi 1 bit) disebut dengan Binary PSK atau 2-ary PSK atau populer dengan istilah **BPSK**.
- 3 **Pertanyaan 1:** Jika kita ingin memodulasi langsung setiap 3 bit, maka berapa fasa yang diperlukan?
- 4 **Pertanyaan 2:** Disebut berapa Ary-PSK kah modulasi langsung setiap 3 bit ini?
- 5 **Pertanyaan 3:** Gambarkan diagram konstelasi dari fasa pada modulasi ini?

## Untung rugi M-Ary PSK

- ➊ **Keuntungan** menggunakan M-Ary PSK dengan M yang besar adalah **efisiensi bandwidth**. Yaitu, deretan data digital yang panjang dapat dimodulasi dengan deretan gelombang yang pendek saja.
- ➋ M-Ary PSK dengan M yang tinggi dengan demikian sangat menguntungkan untuk keperluan transmisi data digital dengan kecepatan atau bit-rate yang tinggi.
- ➌ **Kekurangan** dari M-Ary PSK dengan **M yang tinggi** tentu saja adalah sistem **demodulasi yang lebih rumit**, serta lebih rentan terhadap gangguan derau.

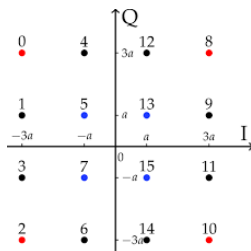


## Modulasi Digital Majemuk : QAM

- 1 Disamping M-Ary PSK, cara lain untuk meningkatkan efisiensi modulasi (efisiensi bandwidth) adalah dengan teknik modulasi Majemuk
- 2 Teknik modulasi majemuk artinya adalah kombinasi dari ASK dengan FSK atau ASK dengan PSK, atau FSK dengan PSK atau ketiganya
- 3 Salah satu modulasi majemuk yang sangat populer adalah QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
- 4 QAM adalah kombinasi dari modulasi ASK dan PSK.
- 5 Contoh modulasi **4-QAM**, **8-QAM**, **16-QAM**, **32 QAM**, dan seterusnya.
- 6 Halaman berikutnya menunjukkan contoh Diagram konstelasi dari 16-QAM

## Modulasi Digital Majemuk : QAM

Contoh diagram konstelasi 16-QAM:



- 1 Dengan 16-QAM, maka setiap **4 bit** dapat langsung dimodulasikan dengan salah satu simbol pada titik konstelasi.
- 2 Dibandingkan dengan 16-Ary PSK, 16-QAM memiliki efisiensi bandwidth yang sama, namun kinerja modulasi terhadap derau lebih baik (Lebih tahan terhadap derau)

## Penutup dan rekapitulasi

Pada slide 12 ini dibahas tentang

- 1 pengantar Line Coding
- 2 3 modulasi Digital : ASK, FSK dan PSK
- 3 Meningkatkan efisiensi modulasi dengan M-Ary PSK dan QAM

Pembahasan lebih mendalam terkait modulasi digital, prosesnya, diagram konstelasinya serta demodulasinya akan dibahas pada mata kuliah **Sistem Komunikasi** (khususnya **Sistem Komunikasi Digital**)

## Latihan

- 1 Sebutkan dan ilustrasikan 4 macam jenis line coding!
- 2 Sebutkan dan jelaskan 3 macam modulasi digital
- 3 Apa itu modulasi OOK dan bagaimana cara membangkitkannya?
- 4 Dapatkah beberapa modulasi digital digabungkan? Apa tujuannya?
- 5 Jika modulasi BPSK memerlukan bandwidth 300 KHz, berapa bandwidth yang diperlukan jika menggunakan modulasi QPSK?
- 6 Jika kita ingin memodulasi langsung **5 bit**, berapa **Ary PSK** yang diperlukan?
- 7 Coba sketsa diagram konstelasi dari 4-QAM ! (bebas asalkan fasa dan amplitudo dari setiap titik konstelasi berbeda dan formasi konstelasinya simetri)!