

Pengantar Teknik Telekomunikasi (PTT)

**Pertemuan 8 : Digitalisasi
Telekomunikasi (Bagian I : Digitalisasi
Data)**

Oleh : Team Dosen PTT S1-TT

Tujuan yang ingin dicapai pada pertemuan ini

- 1 Mahasiswa mengetahui tentang perkembangan telekomunikasi yaitu trend menuju telekomunikasi dengan data digital.
- 2 Mahasiswa memahami proses konversi dari sinyal analog ke data digital

Daftar Isi

➊ Pendahuluan

➋ Konversi Analog ke Digital

Pendahuluan

- Sejak jaman Alexander Graham Bell (1857) sampai 1990-an telepon masih analog merajai bidang telekomunikasi
- Jaringan telekomunikasi dibangun berdasarkan prinsip analog tersebut (sentral, switching, signalling, dsb.)

Pendahuluan

- Dimungkinkan dengan perkembangan **komputer** yang pesat mulai tahun **1970**-an, yang berbasis pada **data digital**, telefoni juga mulai bergeser ke arah **digital**.
- Tahun **1990**-an, era baru telefoni dimulai dengan telepon digital yang disebut dengan sistem yang disebut **Integrated Services Digital Network (ISDN)**.

Pendahuluan

- Karena cepatnya perkembangan teknologi, belum sempat menggantikan sistem telepon analog yang lama, ISDN malah sudah tergusur dengan teknologi baru yaitu Voice over IP (VoIP) di tahun 2000-an.

Pendahuluan

- Voice over IP (VoIP) di tahun 2000-an tersebut, berubah wajah, dengan munculnya aplikasi ultimate terbaru tahun 2010-an yaitu **Whatsapp, Line, Telegram, ...**

Pendahuluan

- **ISDN, VoIP, Whatsapp, Line**, dll adalah bentuk telefoni baru yang berbasiskan **data digital**
- Oleh karena itu, **penting** untuk memahami bagaimana **pengubahan** sinyal analog ke data digital dilakukan.

Pengantar Bilangan Biner

- Bilangan biner sudah pernah dipelajari dalam kurikulum matematika SMA/SMK
- Pada bagian ini akan diulang sekilas tentang bilangan biner

Pengantar Bilangan Biner

- Bilangan Biner dinyatakan dengan dua simbol: **0** dan **1**
- Contoh bilangan biner: **0**, **10**, **010**, **100**, **111**, dan seterusnya.
- **Satu** simbol angka biner disebut **1 bit**. **Dua** simbol angka biner disebut **2 bit** dan seterusnya.
- **Contoh**: '0' adalah **1 bit** biner. '10' adalah **2 bit** biner, **1101** adalah **4 bit** biner.
- Untuk **1 bit biner**, terdapat dua kemungkinan lambang: '0' atau '1'
- Untuk **2 bit biner**, terdapat **4** kemungkinan lambang: '00', '01', '10', dan '11'.
- Untuk **3 bit biner**, maka terdapat kemungkinan lambang:
- Untuk **n bit biner**, maka terdapat kemungkinan lambang:

Konversi Biner ke Desimal

- Bilangan biner:

$$b_n b_{n-1} \dots b_2 b_1 b_0$$

dapat dikonversi ke desimal dengan:

$$D = b_0 + b_1 2^1 + b_2 2^2 + \dots + b_n 2^n$$

- **Contoh:** Konversikan bilangan biner **1101** ke desimal
- **Jawab:** Di sini, $n = 3$ (= panjang bit - 1 = 4 - 1 = 3), dan $x_0 = 1$, $x_1 = 0$, $x_2 = 1$, dan $x_3 = 1$
Sehingga:

$$D = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

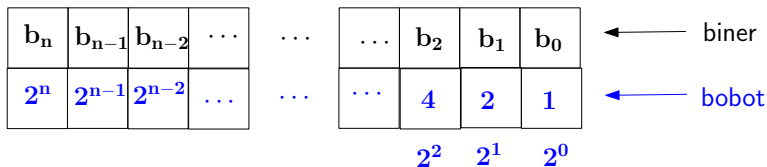
- Dengan demikian, nilai desimal dari biner **1101** adalah **13**.

Konversi Biner ke Desimal

- Proses konversi yang dilakukan sebelumnya dapat pula dipandang sebagai pembobotan.
- Bobot masing-masing bilangan biner (dari kanan ke kiri) adalah $2^{(i - 1)}$ dengan i adalah posisi dihitung dari kiri (paling kiri posisi $i = 1$)
- Misal bilangan biner:

$$b_n b_{n-1} \dots b_2 b_1 b_0$$

maka pembobotan setiap nilai bit adalah :



Konversi Biner ke Desimal

- **Contoh:** Konversikan bilangan biner **1101** ke desimal
- **Jawab:** Dengan menggunakan bobot:

1	1	0	1	← biner
8	4	2	1	← bobot

$8 + 4 + 0 + 1 = 13$

Sehingga:

$$D = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

- Dengan demikian, nilai desimal dari biner **1101** adalah **13**

Konversi Biner ke Desimal

- **Contoh:** Konversikan bilangan biner **11010** ke desimal
- **Jawab:** Dengan menggunakan bobot:

1	1	0	1	0	← biner
16	8	4	2	1	← bobot

$$\dots + \dots + \dots + \dots + \dots = \dots$$

Sehingga:

$$D = \dots\dots\dots$$

- Dengan demikian, nilai desimal dari biner **11010** adalah ...

Konversi Biner ke Desimal

Latihan: konversikan bilangan biner berikut ke desimal!

- 1 101
- 2 1101
- 3 0111
- 4 101010

Bilangan biner terdiri dari **8 bit**. Berapa nilai **desimal** ekuivalen **terbesar** dan berapa bilangan desimal ekuivalen **terkecil** yang dapat diwaliki oleh bilangan biner **8 bit** ini?.

Konversi Desimal ke Biner

- 1 Teknik bobot cukup efektif untuk mengubah biner ke desimal. Kita dapat gunakan pula teknik bobot untuk mengubah dari desimal ke biner.
- 2 **Contoh:** konversikan desimal 20 ke Biner.
- 3 **Jawab:** Kita harus mencari kombinasi dari bobot yang memberikan nilai **20**. Kombinasi ini yaitu **16+4**. Dengan demikian pada bobot **16** dan **4** diberi nilai **1**, sedangkan bobot lainnya (**8, 2, 1**) di beri nilai **0**.

1	0	1	0	0
16	8	4	2	1

- 4 Dengan demikian biner dari **20** adalah **10100**

Konversi Desimal ke Biner

Latihan: konversikan nilai Desimal berikut ke Biner:

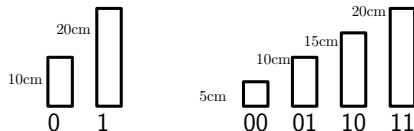
- 1 33
- 2 57
- 3 127
- 4 131
- 5 255

Catatan: Bobot sampai dengan bit ke - 8:

256	128	64	32	16	8	4	2	1

Asosiasi simbol dengan bilangan biner

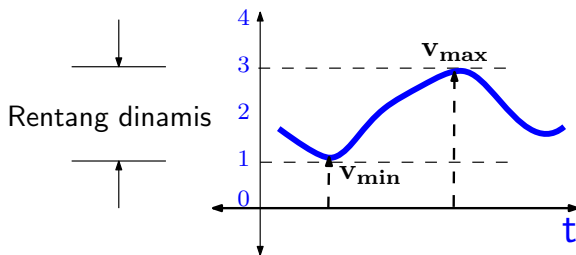
- 1 Seperti yang telah dibahas sebelumnya, n bit bilangan biner dapat digunakan untuk mengasosiasikan 2^n simbol.
- 2 Misal terdapat **2 batang kayu**, yang satu panjangnya **10 cm** dan yang satu lagi panjangnya **20 cm**. Maka kita dapat gunakan **1 bit** untuk mengasosiasikan 2 batang kayu tersebut: **bit 0** untuk merepresentasikan kayu dengan **panjang 10 cm** dan **bit 1** untuk representasikan kayu dengan panjang **20 cm**.
- 3 Jika jika punya **2 bit** biner, maka kita bisa mengasosiasikan lebih banyak lagi, yaitu sampai **4** asosiasi. Misal, kayu dengan panjang **5 cm**, **10 cm**, **15 cm** dan **20 cm** masing-masing dapat diasosiasikan dengan bit **00**, **01**, **10** dan **11**.



Rentang dinamis sinyal

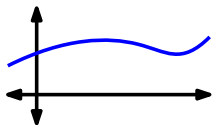
- 1 Sebelum pembahasan tentang ADC, perlu didefinisikan rentang dinamis sinyal
- 2 Rentang dinamis (**RD**) sinyal adalah selisih antara amplitudo tertinggi dan amplitudo terendah sinyal.
- 3 **Contoh:** Jika sinyal memiliki amplitudo tertinggi 3 volt dan terendah 1 volt, maka rentang dinamis sinyal :

$$RD = 3 - 1 = 2 \text{ volt}$$



Analog to digital Converter

ADC adalah proses untuk mengubah sinyal analog ke sinyal digital.



sinyal analog



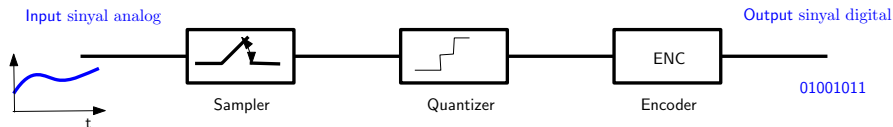
...10110111...

sinyal digital

Analog to digital Converter

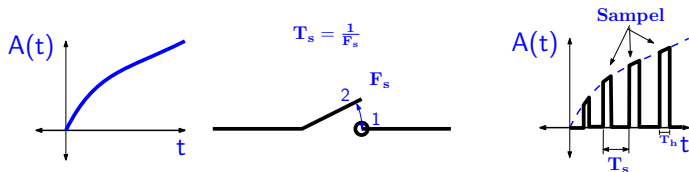
Untuk mengubah sinyal analog ke digital, diperlukan 3 tahapan yaitu

- 1 Sampling
- 2 Quantisasi
- 3 Encoding



Sampling atau pencuplikan

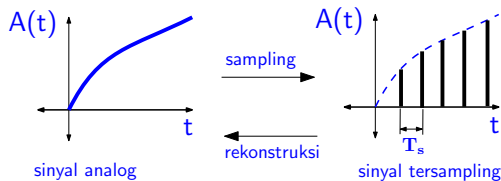
- 1 Sampling dapat diimplementasikan dengan proses switching (saklar dibuka dan ditutup)



- 2 Saklar kontak pada posisi 1, berarti sinyal disampling (selama waktu holding T_h)
- 3 Ketika saklar pada posisi 2, berarti sinyal tidak disampling.
- 4 Sampling ideal diperoleh jika waktu holding T_h dibuat sekecil mungkin (menuju nol).
- 5 Kecepatan mensampel dinyatakan dengan **Frekuensi sampling** F_S yaitu banyaknya sampel yang dibuat dalam 1 detik.

Sampling atau pencuplikan

- 1 Contoh hasil sampling yang ideal ($T_h \rightarrow 0$):



- 2 Meskipun kita melakukan proses sampling, proses sebaliknya yaitu **rekonstruksi** perlu dilakukan.
- 3 **Pertanyaan:** Harus **berapa rapat** T_s atau harus **berapa tinggi frekuensi sampling** F_s agar sinyal tersampling dapat **sempurna** dikembalikan ke sinyal semula?
- 4 Pertanyaan ini dijawab oleh **Harry Nyquist** dengan perumusan frekuensi sampling minimal yang dirumuskan tahun 1924.

Teorema Sampling Nyquist

- 1 Nyquist menyatakan bahwa¹: Untuk dapat direkonstruksi dengan sempurna, maka **Frekuensi Sampling Minimum (FSM)** adalah **2 kali frekuensi tertinggi sinyal yang disampling**.

$$F_{SM} = 2 \times f_{max}$$

- 2 **Contoh:** Frekuensi suara manusia adalah pada rentang 300-3400 Hz. Tentukan frekuensi sampling minimum untuk mensampling suara manusia!
- 3 **Jawab:** $f_{max}=3400$ Hz, dengan demikian
 $F_{SM} = 2 \times f_{max} = 2 \times 3400 = 6800$ sampel per detik.
- 4 Bolehkah mensampling suara manusia dengan kecepatan 8000 sampel per detik? Boleh karena nilai tersebut lebih dari FSM

¹Nyquist, Harry. "Certain factors affecting telegraph speed". Bell System Technical Journal, 3, 324–346, 1924

Teorema Sampling Nyquist

- 1 Untuk sinyal suara manusia, FSM adalah 6800 Sampel per detik,
- 2 **Pertanyaan:** Bolehkah mensampling suara manusia dengan frekuensi sampling 8000 sampel per detik? **Jawab:** Boleh karena nilai tersebut lebih dari FSM.
- 3 **Pertanyaan:** Bolehkah mensampling suara manusia dengan frekuensi sampling 6000 sampel per detik? **Jawab:** Tidak boleh, karena nilai tersebut kurang dari FSM
- 4 **Pertanyaan:** Apa yang terjadi jika frekuensi sampling kurang dari FSM? **Jawab:** Sinyal setelah disampling tidak dapat dikembalikan secara sempurna ke sinyal analog semula.
- 5 **Pertanyaan:** Sinyal EEG memiliki rentang frekuensi dari **3-16 Hz**. Tentukan nilai FSM untuk mensampling sinyal EEG! ²

²EEG: Electro Encephalo Graphy, sinyal otak

Kuantisasi dan Encoder

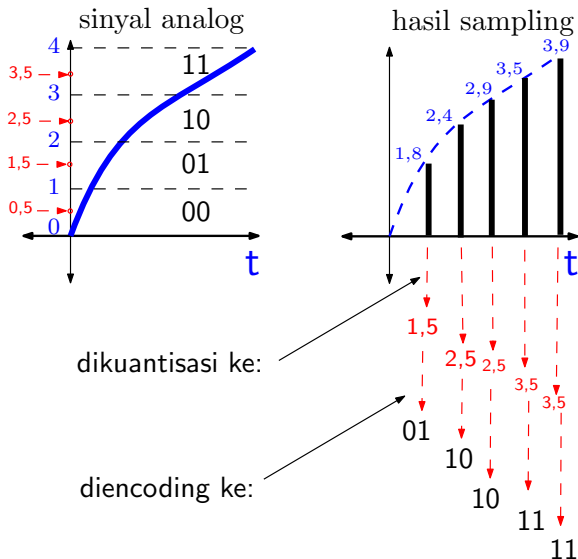
- 1 Kuantisasi adalah proses mengambil representatif dari suatu rentang data.
- 2 Kuantisasi diperlukan dalam proses pengasosiasian di blok terakhir ADC yaitu Encoder.
- 3 Encoder berfungsi untuk mengasosiasikan atau **mengkodekan** setiap representasi **keluaran kuantiser** ke **simbol biner**.
- 4 Misalkan kita memiliki sinyal analog dengan amplitudo dari 0 sampai 4 volt.
- 5 Jika encoder memiliki **jumlah bit 2**, maka ada **4 nilai** yang bisa diasosiasikan.
- 6 Kita bagi rentang amplitudo sinyal 0-4 volt dalam **4 rentang**:
- 7 Rentang I (**0-1 volt**), Rentang II (**1-2 volt**), Rentang III (**2-3 volt**), dan Rentang IV (**3-4 volt**)

Kuantisasi dan Encoder

- 1 Misalkan diambil representasi dari setiap Rentang sebagai **nilai tengahnya**:
- 2 Rentang **I** diwakili oleh nilai **0,5 volt**, Rentang **II** diwakili dengan **1,5 volt**, Rentang **III** diwakili dengan **2,5 volt**, dan Rentang **IV** diwakili dengan **3,5 volt**. **Sampai dengan perwakilan ini**, maka selesai tugas **kuantiser**.
- 3 Setiap wakil ini kemudian diasosiasikan dengan bilangan biner **2 bit** oleh **Encoder**.
- 4 Misal asosiasi pengkodeannya seperti tabel berikut:

Nilai	0,5 volt	1,5 volt	2,5 volt	3,5 volt
Kode	00	01	10	11
- 5 Dengan skema ini, maka setiap sampel dapat dikodekan 2 bit seperti contoh ilustrasi halaman berikut:

Kuantisasi dan Encoder



Kuantisasi dan Encoder

- Pada contoh ilustrasi sebelumnya, hasil sampling pertama (sampel pertama) memiliki amplitudo **1,8**, sampel kedua **2,4**, sampel ketiga **2,9**, sampel keempat **3,5** dan sampel kelima **3,9**
- Sampel pertama karena terletak dalam Rentang II, maka dikuantisasi ke **1,5**, sampel kedua berada pada Rentang III karena itu dikuantisasi ke **2,5** dst.
- Hasil kuantisasi sampel pertama yaitu **1,5** dikodekan ke **01**. Sesuai dengan tabel pengkodean yang dibuat.
- Demikian juga sampel kedua dikodekan ke **10** dan sampel ketiga ke **10**.
- Dengan demikian secara lengkap, deretan sampel [**1,8 2,4 2,9 3,5 3,9**] dikodekan menjadi deretan: **01 10 10 11 11**

Error Kuantisasi

- Pada contoh sebelumnya, Sampel pertama **1,8** dikuantisasi ke **1,5** dengan demikian terdapat kesalahan sebesar $1,8 - 1,5 = 0,3$
- Jadi untuk setiap proses kuantisasi, akan terdapat kesalahan kuantisasi (**Selisih antara nilai sebenarnya dibandingkan dengan nilai hasil kuantisasi**)
- Kesalahan ini **tidak dapat diperbaiki lagi**. Dengan kata lain, jika hasil kuantisasi adalah 1,5 maka kita tidak pernah tahu bagaimana cara mengembalikan nilai 1,5 ini ke nilai semula atau nilai aslinya.
- Kesalahan kuantisasi secara umum diambil sebagai **akar** dari **rata-rata** kesalahan kuadrat. (**Lebih lanjut pada kuliah di atas**)
- Cara **mengurangi** kesalahan kuantisasi adalah menggunakan **jumlah bit encoder** yang lebih banyak.

Error Kuantisasi

- Pada contoh sebelumnya, Sampel pertama **1,8** dikuantisasi ke **1,5** dengan demikian terdapat kesalahan sebesar $1,8 - 1,5 = 0,3$
- Jadi untuk setiap proses kuantisasi, akan terdapat kesalahan kuantisasi (**Selisih antara nilai sebenarnya dibandingkan dengan nilai hasil kuantisasi**)
- Kesalahan ini **tidak dapat diperbaiki lagi**. Dengan kata lain, jika hasil kuantisasi adalah 1,5 maka kita tidak pernah tahu bagaimana cara mengembalikan nilai 1,5 ini ke nilai semula atau nilai aslinya.
- Kesalahan kuantisasi secara umum diambil sebagai **akar** dari **rata-rata** kesalahan kuadrat. (**Lebih lanjut pada kuliah di atas**)
- Cara **mengurangi** kesalahan kuantisasi adalah menggunakan **jumlah bit encoder** yang lebih banyak.

Penutup

Review Istilah...

- 1 Bilangan biner
- 2 Bilangan desimal
- 3 Bilangan biner **N bit** dan jumlah asosiasi lambangnya sebanyak 2^N .
- 4 ADC dan komponennya (Sampler, Quantizer, Encoder)
- 5 Sampling dan Frekuensi Sampling
- 6 Frekuensi Sampling Minimum dan Teorema Nyquist
- 7 Fungsi kuantisasi
- 8 Encoder N bit
- 9 Kesalahan kuantisasi
- 10 Cara mengurangi kesalahan kuantisasi

Latihan di rumah

Suatu sinyal memiliki rentang dinamis dari 0-4 volt, dengan frekuensi tertinggi sebesar 30 Hertz. Sinyal ini akan disampling dengan ADC yang memiliki frekuensi sampling sebesar $4 \times \text{FSM}$. **Tiga sampel pertama** dari hasil sampling : **1,3 1,7 dan 2,2**.

- 1 Tentukan nilai **FSM** (Frekuensi Sampling Minimum)!
- 2 Dengan menggunakan frekuensi sampling sebesar $4 \times \text{FSM}$. Berapa frekuensi sampling aktual yang digunakan?
- 3 Dengan menggunakan encoder **3 bit**, ada berapa **rentang** pembagian dari sinyal dengan rentang dinamis **0-4 volt**?
- 4 Sebutkan **rentang-rentang** yang ada beserta **batasan tegangannya**!
- 5 Jika setiap rentang **diwakili** dengan **nilai tengahnya**, tuliskan nilai perwakilan (nilai hasil kuantisasi) dari setiap rentang!
- 6 Buatlah **pengkodean** (bebas) antara nilai kuantisasi dengan **encoder 3 bit** serta kodekan **3 sampel** pertama di atas!