

Materi-3

SENSOR DAN TRANSDUSER

52150802 (2 SKS / TEORI)

SEMESTER 110 TA 2018/2019



ADC dan DAC (Sistem Akuisisi Data)

SENSOR TRANSDUSER

DAC - ADC

Digital to Analog Converter
Analog to Digital Converter

Konverter

- Alat bantu digital yang paling penting untuk teknologi kontrol proses adalah yang menerjemahkan informasi digital ke bentuk analog dan juga sebaliknya.
- Sebagian besar pengukuran variabel-variabel dinamik dilakukan oleh piranti ini yang menerjemahkan informasi mengenai variabel ke bentuk sinyal listrik analog.

Konverter

- Untuk menghubungkan sinyal ini dengan sebuah komputer atau rangkaian logika digital, sangat perlu untuk terlebih dahulu melakukan konversi analog ke digital (A/D).
- Hal-hal mengenai konversi ini harus diketahui sehingga ada keunikan, hubungan khusus antara sinyal analog dan digital

Analog VS Digital

- Sinyal Analog: Sinyal data dalam bentuk gelombang kontinyu, yang memiliki parameter amplitudo dan frekuensi
- Sinyal Digital adalah sinyal data dalam bentuk pulsa yang dapat mengalami perubahan tiba-tiba dan mempunyai besaran 0 dan 1

ANALOG

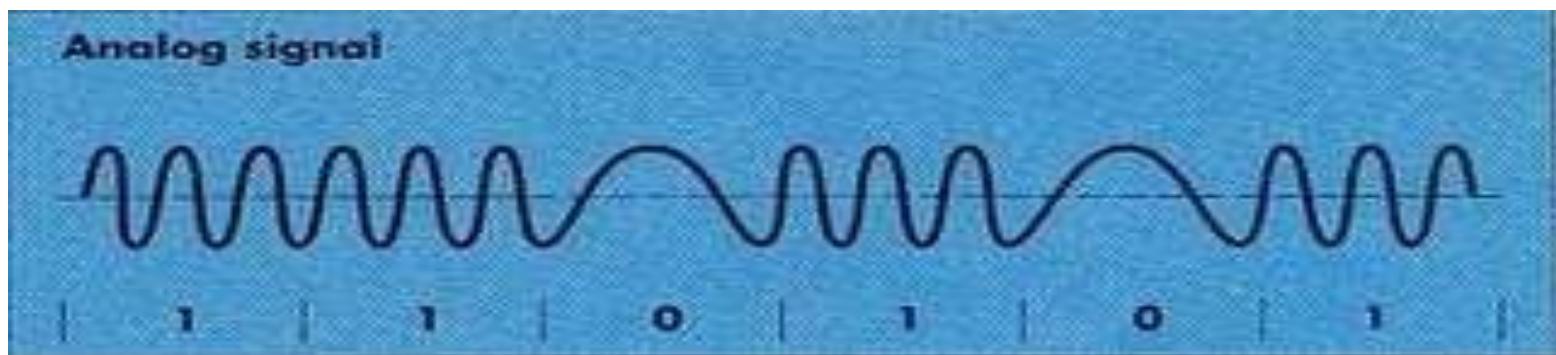
- Compute on a **continuous** set e.g. $\mathbb{R} [0,1]$.
- Primitives of computation arise from the **physics** of the computing devices:
Physical relations of NFETs, PFETs, capacitors, resistors, floating-gate devices, KVL, KCL etc. The **amount of computation squeezed out of a single transistor is high.**
- One wire represents **many** bits of information.
- Computation is **offset-prone** since it's sensitive to the parameters of the physical devices.
- Noise due to **thermal fluctuations** in physical devices.
- Signal **not restored** at each stage of the computation.
- In a cascade of analog stages, noise starts to **accumulate** and build up.
- **Not easily programmable.**

DIGITAL

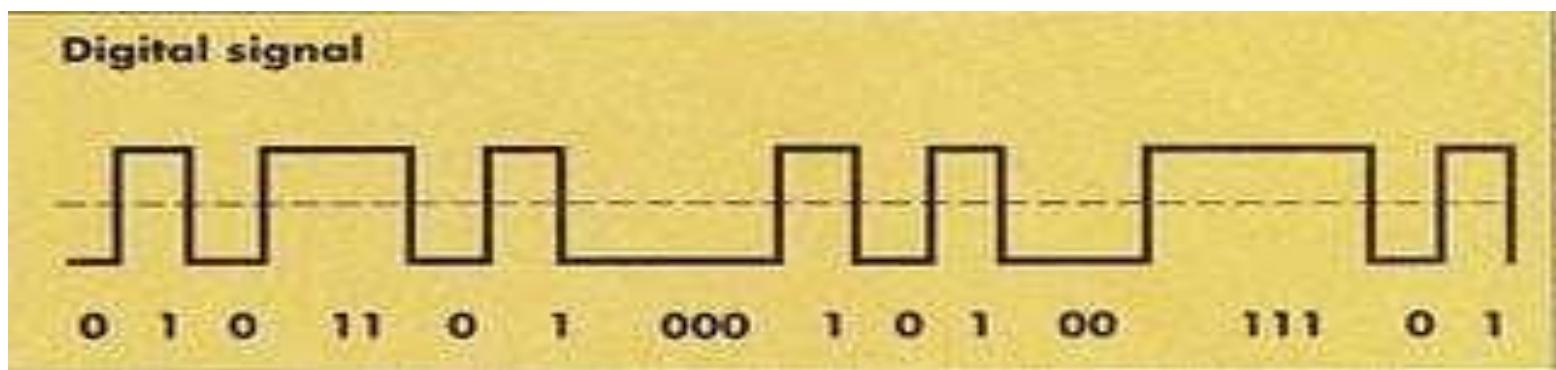
- Compute on a **discrete** set e.g. $\{0,1\}$.
- Primitives of computation arise from the **mathematics** of Boolean logic:
Logical relations like AND, OR, NOT, NAND, XOR etc. The transistor is used as a switch, and the **amount of computation squeezed out of a single transistor is low.**
- One wire represents **one** bit of information.
- Computation is **not offset-prone** since it's insensitive to the parameters of the physical devices.
- Noise due to **roundoff error and temporal aliasing.**
- Signal **restored** at each stage of the computation.
- Roundoff-error does **not accumulate** significantly for many computations.
- **Easily programmable.**

Analog VS Digital

▪ Analog

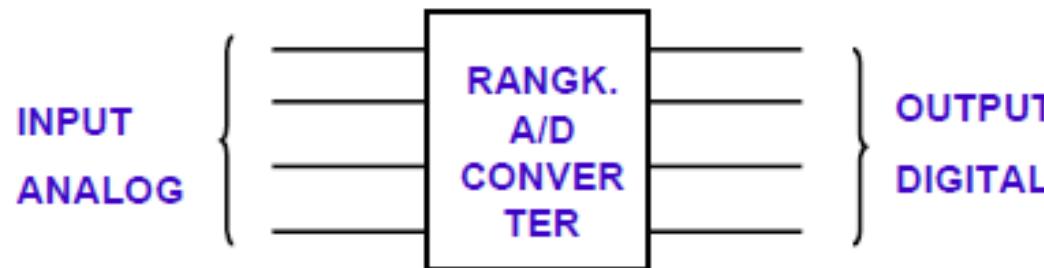


▪ Digital



A/D – D/A Converter

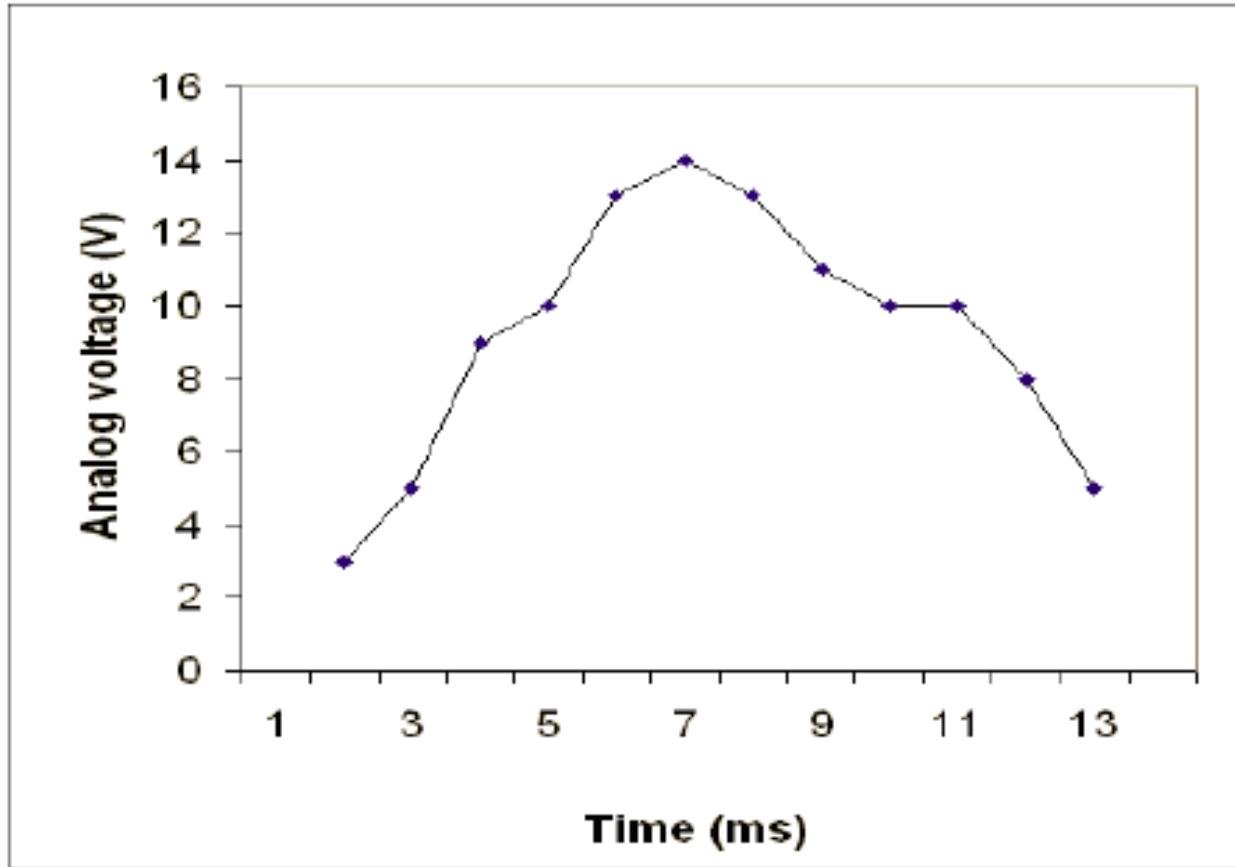
- A/D CONVERTER: MENGKONVERSI TEGANGAN ANALOG MENJADI DIGITAL



- D/A CONVERTER: MENGKONVERSI INPUT DIGITAL MENJADI OUTPUT ANALOG



Besaran Digital Dan Analog



Representasi Digital

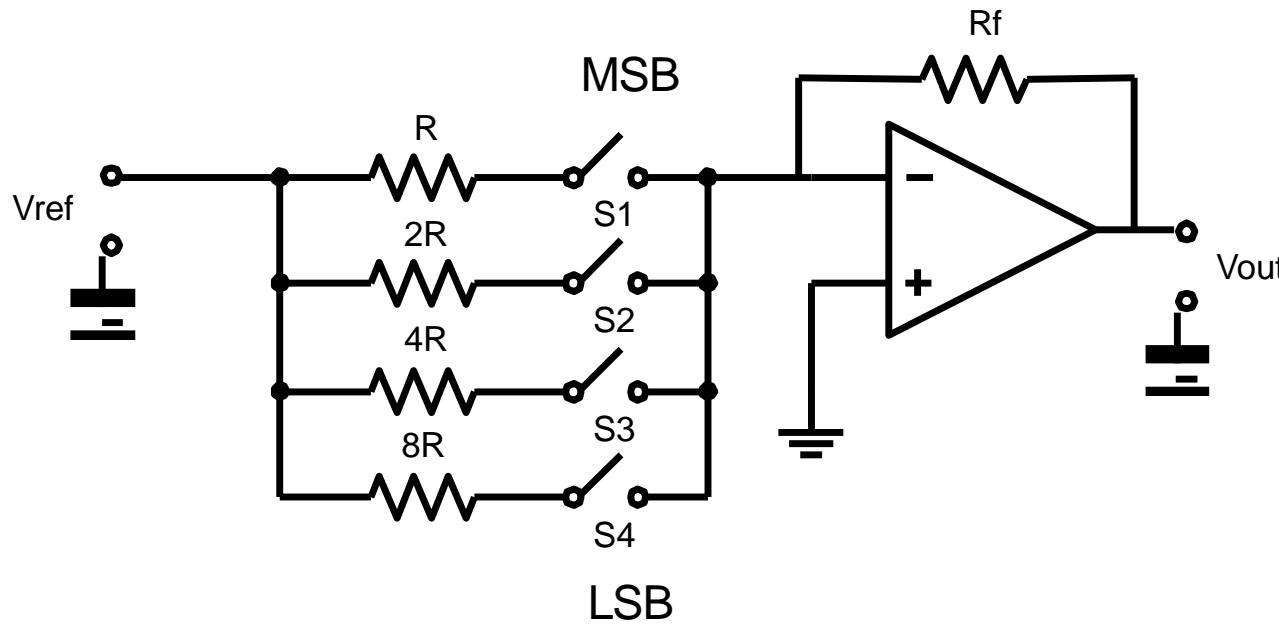
Time (ms)	Representation	
	analog	digital
1	3	0011
2	5	0101
3	9	1001
4	10	1010
5	13	1101
6	14	1110
7	13	1101
8	11	1011
9	10	1010
10	10	1010
11	8	1000
12	5	0101

DAC - Digital to Analog Converter

- *Digital To Analog Converter* (DAC) adalah pengubah kode / bilangan digital menjadi tegangan keluaran analog.
- DAC banyak digunakan sebagai rangkaian pengendali (driver) yang membutuhkan input analog; seperti motor AC maupun DC, tingkat kecerahan pada lampu, Pemanas (Heater) dan sebagainya.
- Umumnya DAC digunakan untuk mengendalikan peralatan aktuator.

DAC - Digital to Analog Converter

- Dua jenis DAC yang umum
 - Binary-weighted DAC
 - R/2R Ladder DAC



DAC - Digital to Analog Converter

DAC Resistor Berbobot (Weighted Resistor DAC)

- Prinsip dasar dari rangkaian ini adalah rangkaian penjumlah (summing circuit) yang dibentuk dengan menggunakan Operasional Amplifier
- Rangkaian diatas memenuhi rumus

$$V_{out} = -V_{ref} \cdot \frac{R_f}{R + 2R + 4R + 8R}$$

DAC - Digital to Analog Converter

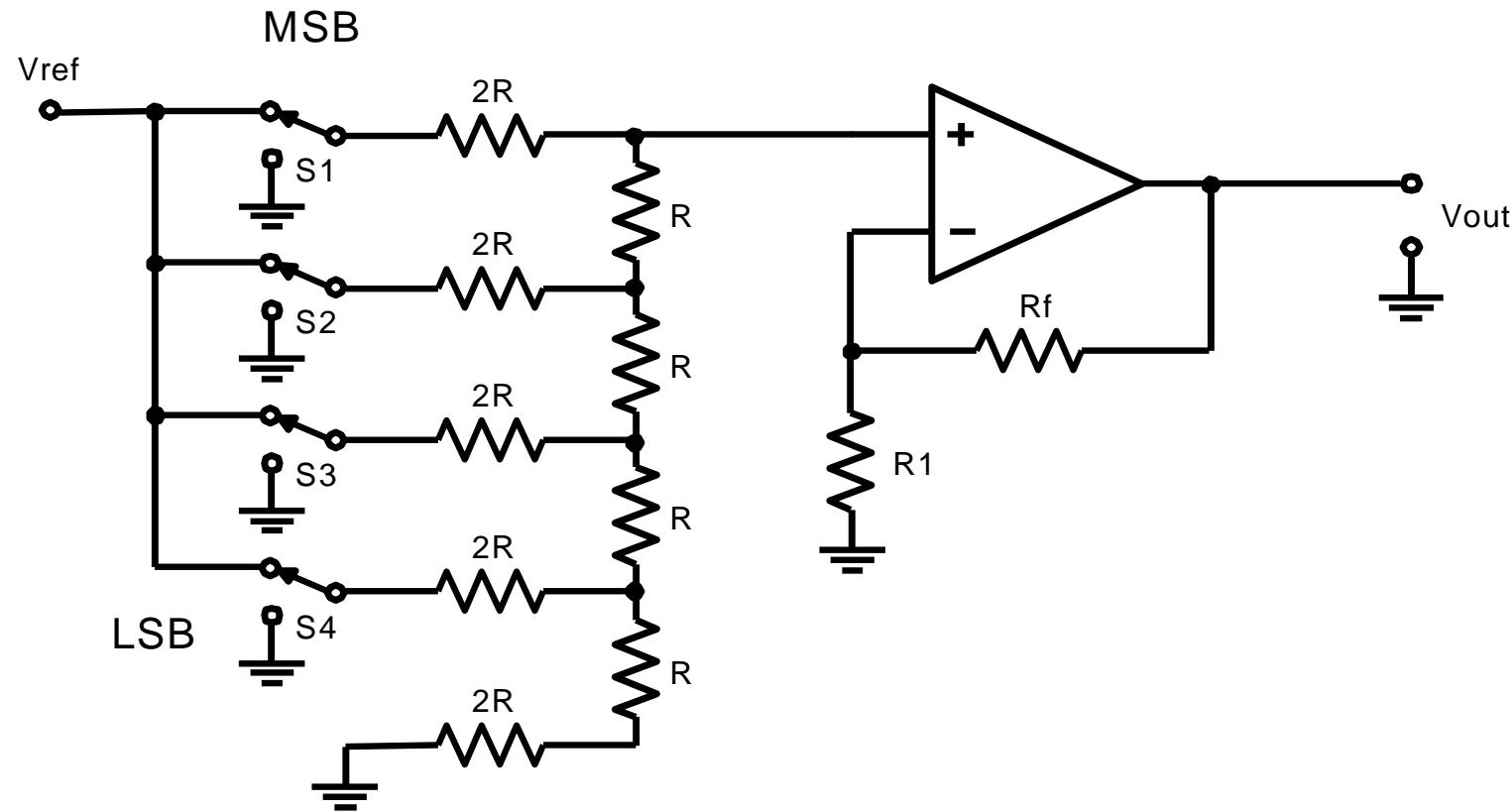
DAC Resistor Berbobot (Weighted Resistor DAC)

- Bila terdapat input digital 1010 (10 desimal) maka saklar 1 (S1) dan saklar 3 (S3) tertutup; didapat :

$$V_{out} = -V_{ref} \cdot \left(\frac{R_f}{R + 4R} \right)$$

DAC - Digital to Analog Converter

DAC – Pasangan R-2R



DAC - Digital to Analog Converter

DAC – Pasangan R-2R

- Prinsip dasar dari rangkaian ini dibentuk karena mengatasi hambatan besar resistor yang terjadi bila jumlah bit rangkaian bertambah. Rangkaian ini hanya menggunakan dua nilai resistor
- Sama seperti rangkaian diatas, prinsip dasar rangkaian ini menggunakan rangkaian penjumlah langsung (Direct summing circuit) yang dibentuk dengan menggunakan Operasional Amplifier

DAC - Digital to Analog Converter

DAC – Pasangan R-2R

- Rangkaian diatas memenuhi rumus :

$$\mathbf{V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) \cdot (V_{ref}) \cdot (\text{Ratio_Pembagi})}$$

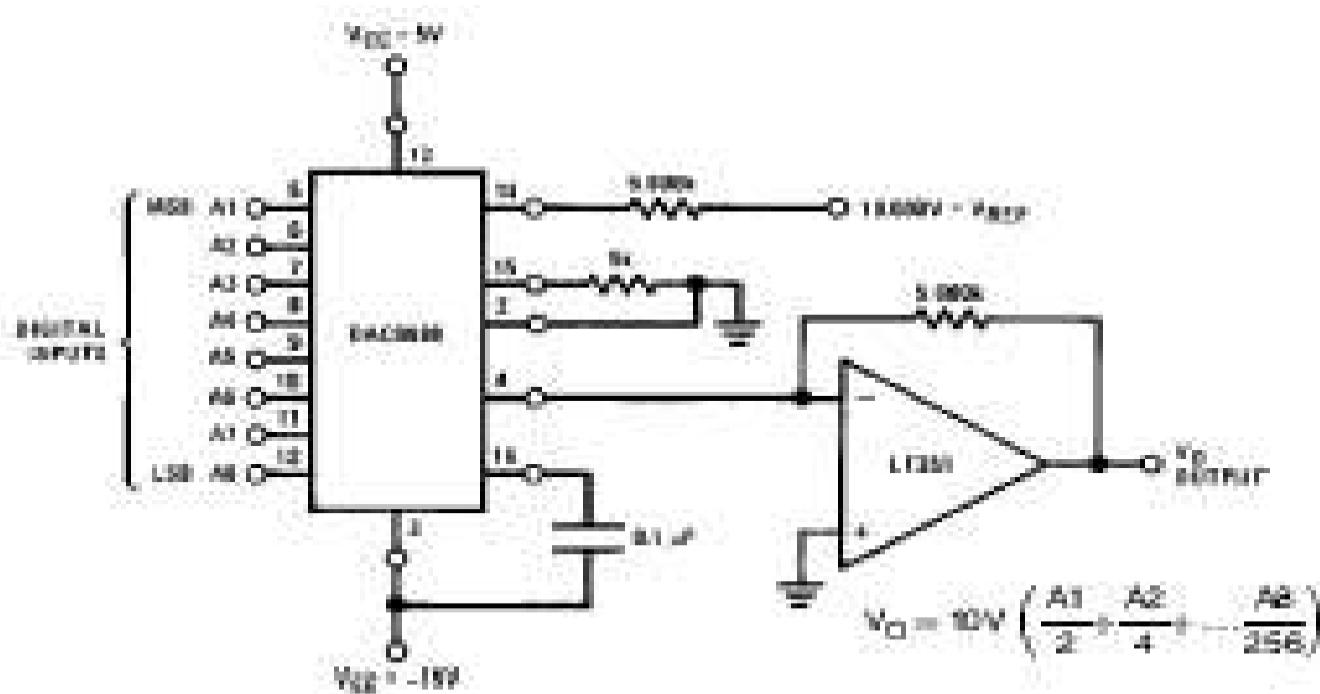
DAC - Digital to Analog Converter

DAC – Pasangan R-2R

- Dari dua jenis DAC diatas, sudah banyak terdapat DAC yang terintegrasi menjadi suatu serpih (IC) yang mudah dalam penggunaannya. Contohnya adalah National Semiconductor DAC 0808 yang menggunakan prinsip R-2R

DAC - Digital to Analog Converter

DAC – Pasangan R-2R



Contoh Aplikasi DAC sebagai rangkaian Pengendali

ADC – Analog to Digital Converter

- Analog To Digital Converter (ADC) adalah pengubah input analog menjadi kode – kode digital
- ADC banyak digunakan sebagai Pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/ pengujian

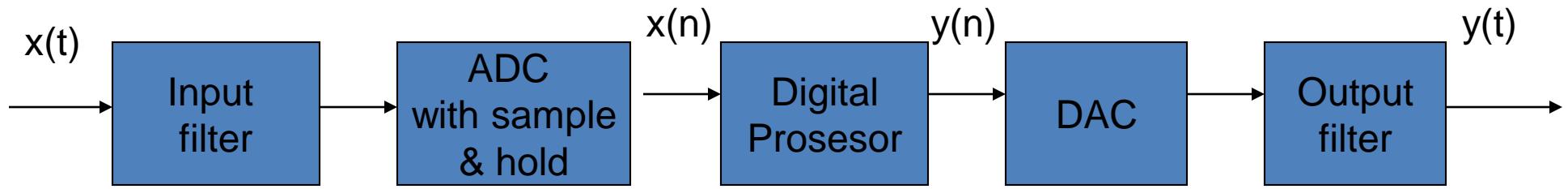
ADC – Analog to Digital Converter

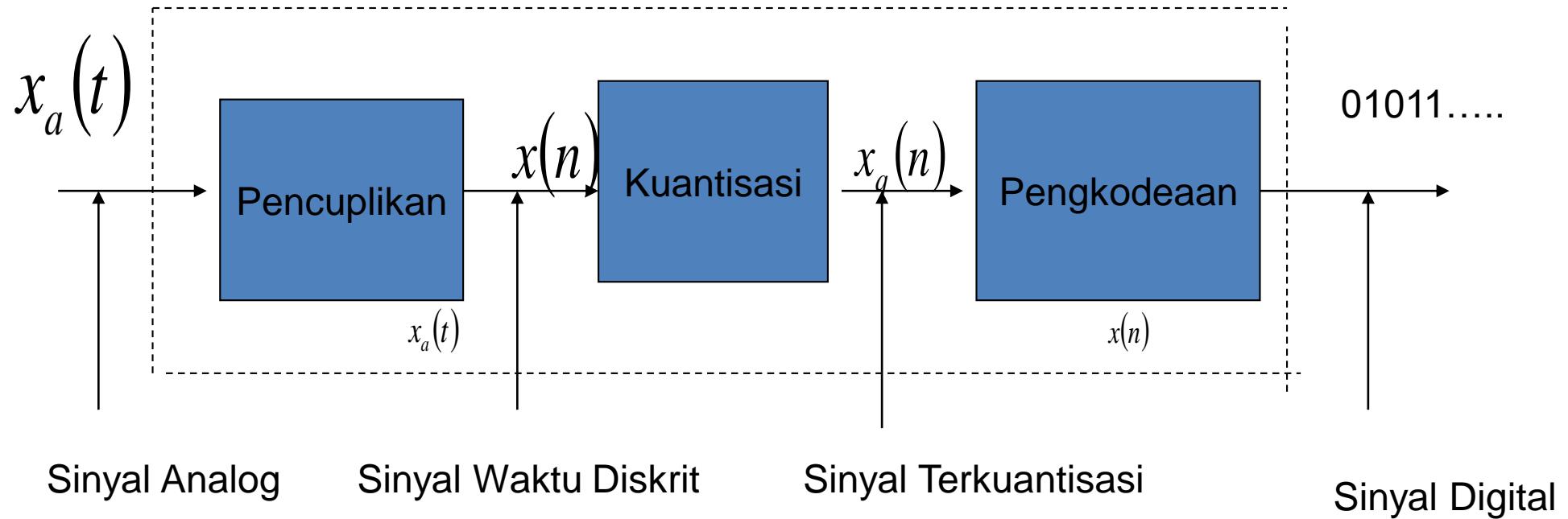
- Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/ berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital (komputer).

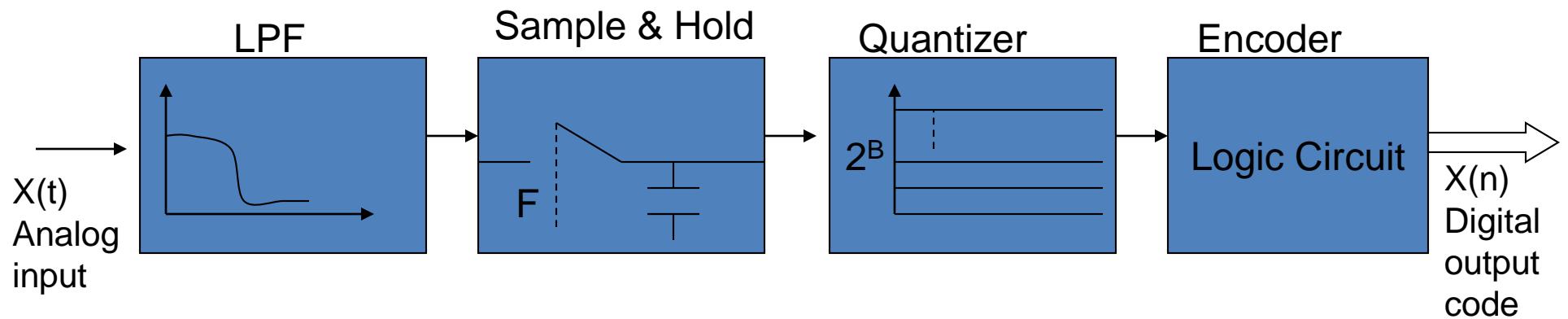
ADC – Analog to Digital Converter

- Dalam menjelaskan prinsip dari ADC, terdapat dua hal penting yang menjadi dasar dari ADC yaitu :
 - Teorema Petik dan Genggam (Sample and Hold) / kecepatan sampling
 - Resolusi dari ADC
- Dan melalui penjelasan ini didapat dasar untuk mengubah sinyal analog menjadi digital.

Typical real time DSP System







Untuk proses gambar diatas ada tiga tipe identifikasi :

- **Sinyal input analog** : Sinyal kontinu dalam fungsi waktu dan amplitudo.
- **Sinyal di-sample** : Amplitudo Sinyal kontinu didefinisikan sebagai diskrit point dalam waktu.
- **Sinyal digital** : dimana $x(n)$, untuk $n=0,1,2,\dots$. Sinyal dalam sumbu poin diskrit dalam waktu dan masing-masing poin akan dihasilkan nilai 2^B .

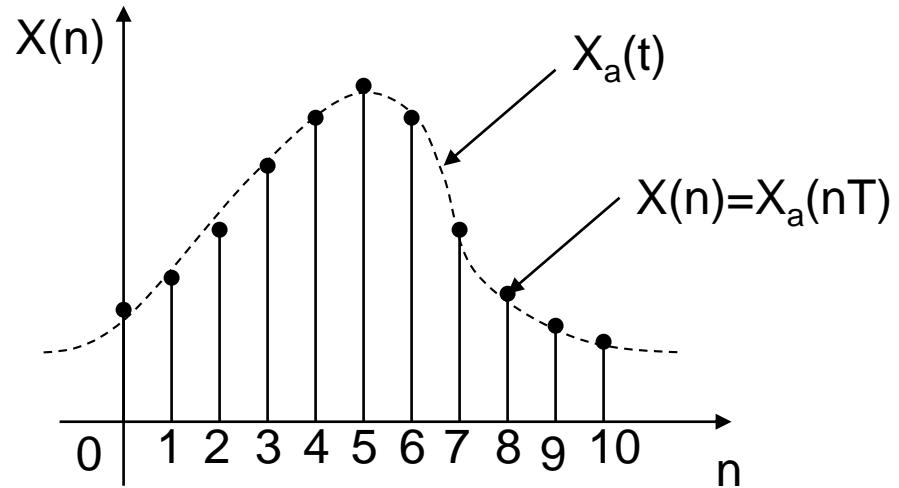
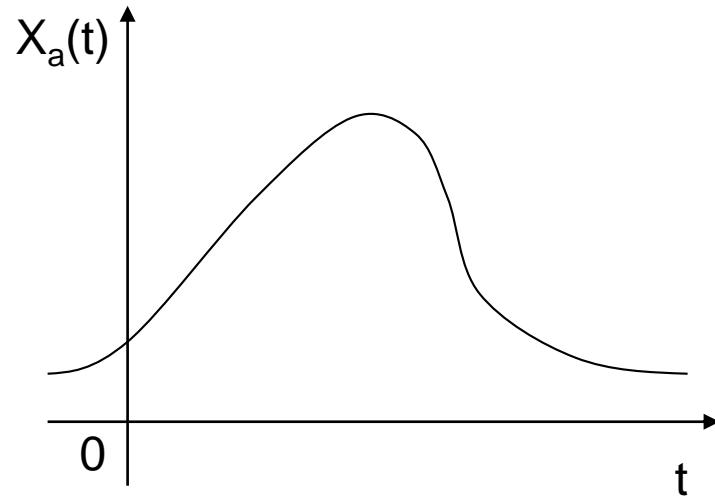
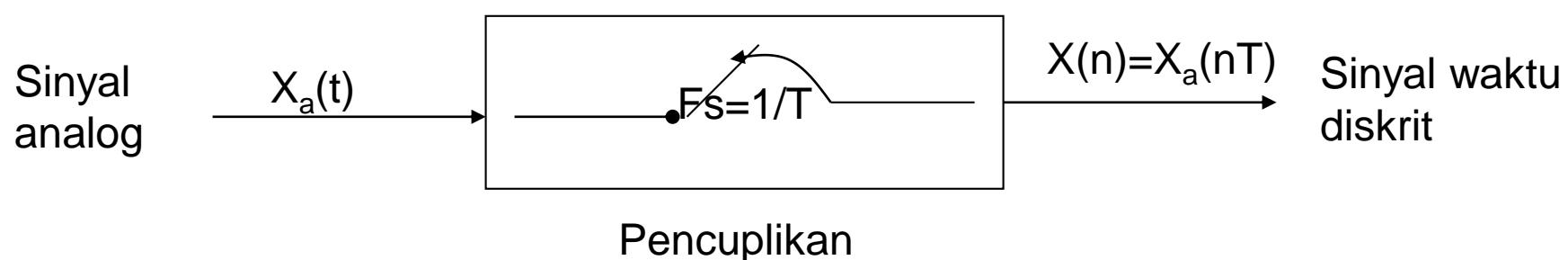
Ada tiga langkah dalam proses konversi :

- 1. Pencuplikan (Sampling) :** konversi sinyal analog ke dalam sinyal amplitudo kontinu waktu diskrit.
- 2. Kuantisasi :** konversi masing-masing amplitudo kontinu waktu diskrit dari sinyal sample dikuantisasi dalam level 2^B , dimana B adalah number bit yang digunakan untuk representasi dalam ***Analog to Digital Conversion (ADC)***.
- 3. Pengkodean :** Setiap sinyal amplitudo diskrit yang dikuantisasi direpresentasikan kedalam suatu barisan bilangan biner dari masing-masing bit.

Pencuplikan periodik atau seragam:

$$F_s = 1/T, t = nT = n/F_s$$

Diskripsi : $x(n) = x_a(nT)$, $-\infty < n < \infty$



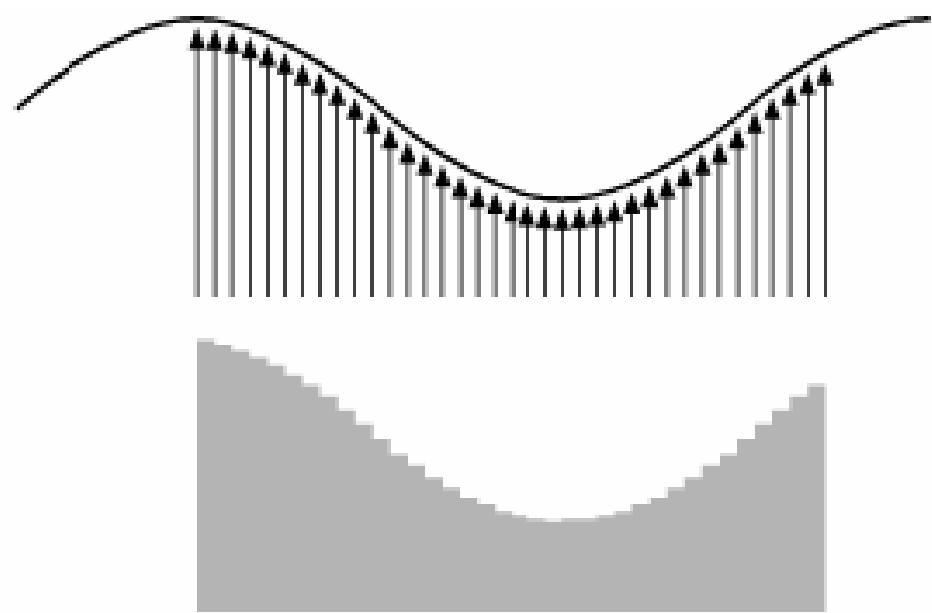
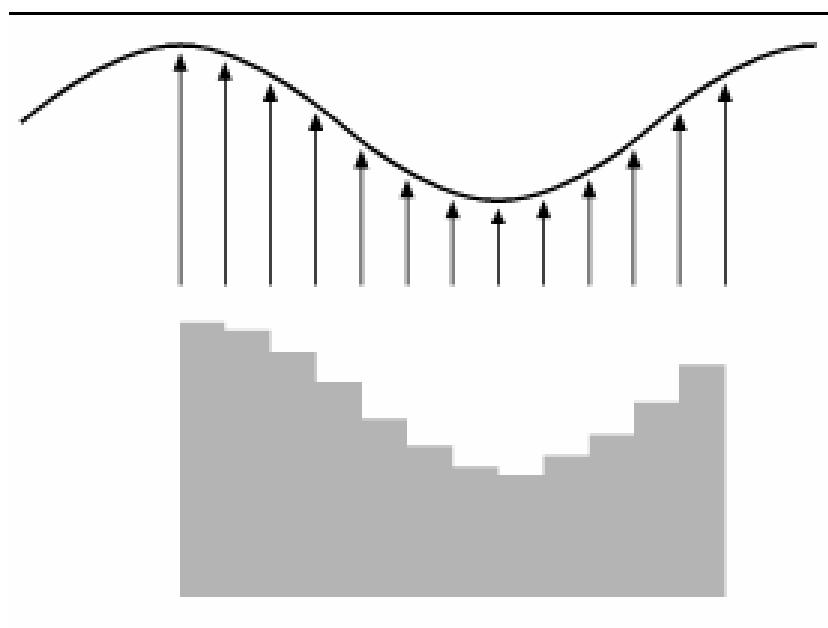
ADC – Analog to Digital Converter

Kecepatan sampling

- Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu.
- Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam **sample per second (SPS)**

ADC – Analog to Digital Converter

Kecepatan sampling



KUANTISASI SINYAL AMPLITUDO-KONTINU

KUANTISASI :

Proses pengkonversian suatu sinyal amplitudo-kontinu waktu diskrit menjadi sinyal digital dengan menyatakan setiap nilai cuplikan sebagai suatu angka digit, dinyatakan dengan :

$$X_q(n) = Q[X(n)]$$

- ❖ $X(n)$ merupakan hasil pencuplikan,
- ❖ $Q[X(n)]$ merupakan proses kuantisasi
- ❖ $X_q(n)$ merupakan deret cuplikan terkuantisasi
- :

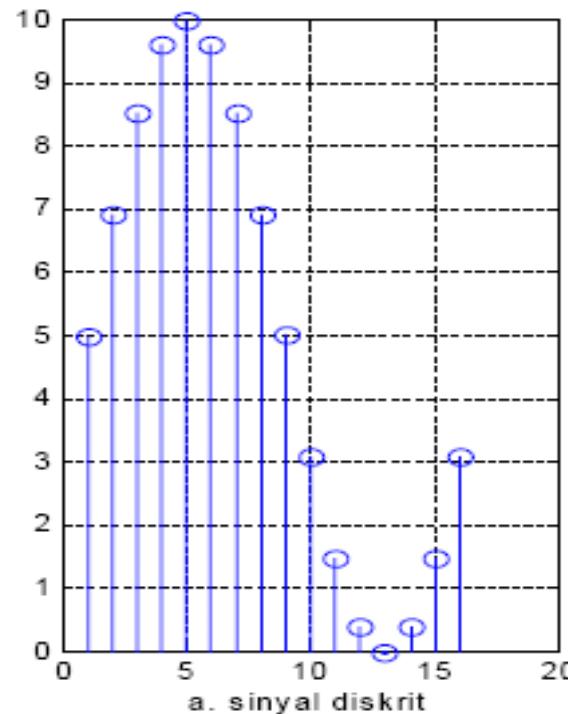
Konsep kuantisasi (lanj.)

Pada kasus sinyal digital, sinyal diskrit hasil proses sampling diolah lebih lanjut. Sinyal hasil sampling dibandingkan dengan beberapa nilai threshold tertentu sesuai dengan level-level digital yang dikehendaki.

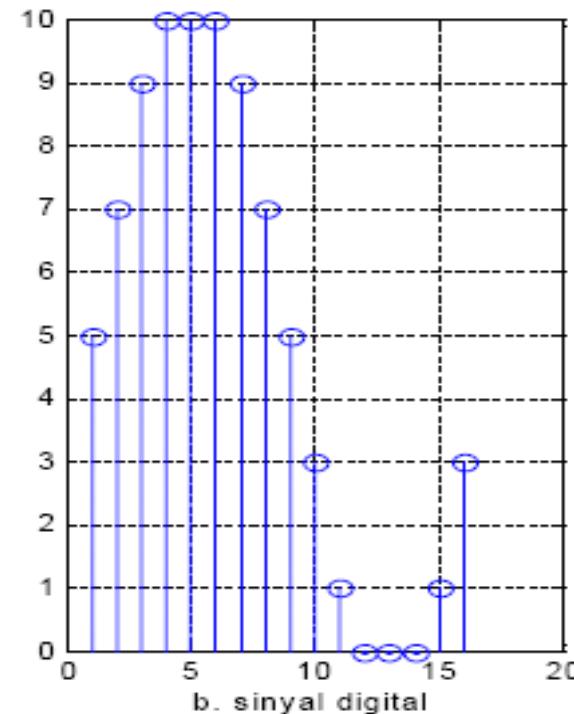
Apabila suatu nilai sampel yang didapatkan memiliki nilai lebih tinggi dari sebuah **threshold** maka nilai digitalnya ditetapkan mengikuti nilai integer diatasnya, tetapi apabila nilainya lebih rendah dari **threshold** ditetapkan nilainya pengikuti nilai integer dibawahnya. Proses ini dalam **analog-to-digital conversion** (ADC) juga dikenal sebagai kuantisasi.

Contoh

Dari sinyal diskrit terbangkit pada contoh sebelumnya ditetapkan untuk level digital sebanyak 11, mulai dari 0 sampai 10. Dan pada kasus ini ditetapkan threshold sebanyak 10 atau level kuantisasi sebesar ± 0.5 terhadap nilai integer. Beri gambaran bentuk sinyal diskrit dan sinyal digital yang dihasilkan.



a. sinyal diskrit



b. sinyal digital

Gambar 1.8 Sinyal diskrit dan digital



Penyelesaian:

Dengan mengacu kasus di atas dapat dibuat aturan seperti tabel berikut:

Nilai diskrit	Nilai Digital
$s[n] \leq 0.5$	0
$0.5 \leq s[n] < 1.5$	1
$1.5 \leq s[n] < 2.5$	2
$2.5 \leq s[n] < 3.5$	3
$3.5 \leq s[n] < 4.5$	4
$4.5 \leq s[n] < 5.5$	5
$5.5 \leq s[n] < 6.5$	6
$6.5 \leq s[n] < 7.5$	7
$7.5 \leq s[n] < 8.5$	8
$8.5 \leq s[n] < 9.5$	9
$9.5 \leq s[n]$	10

KESALAHAN KUANTISASI/

Kebisingan Kuantisasi /Galat Kuantisasi/

Error Kuantisasi

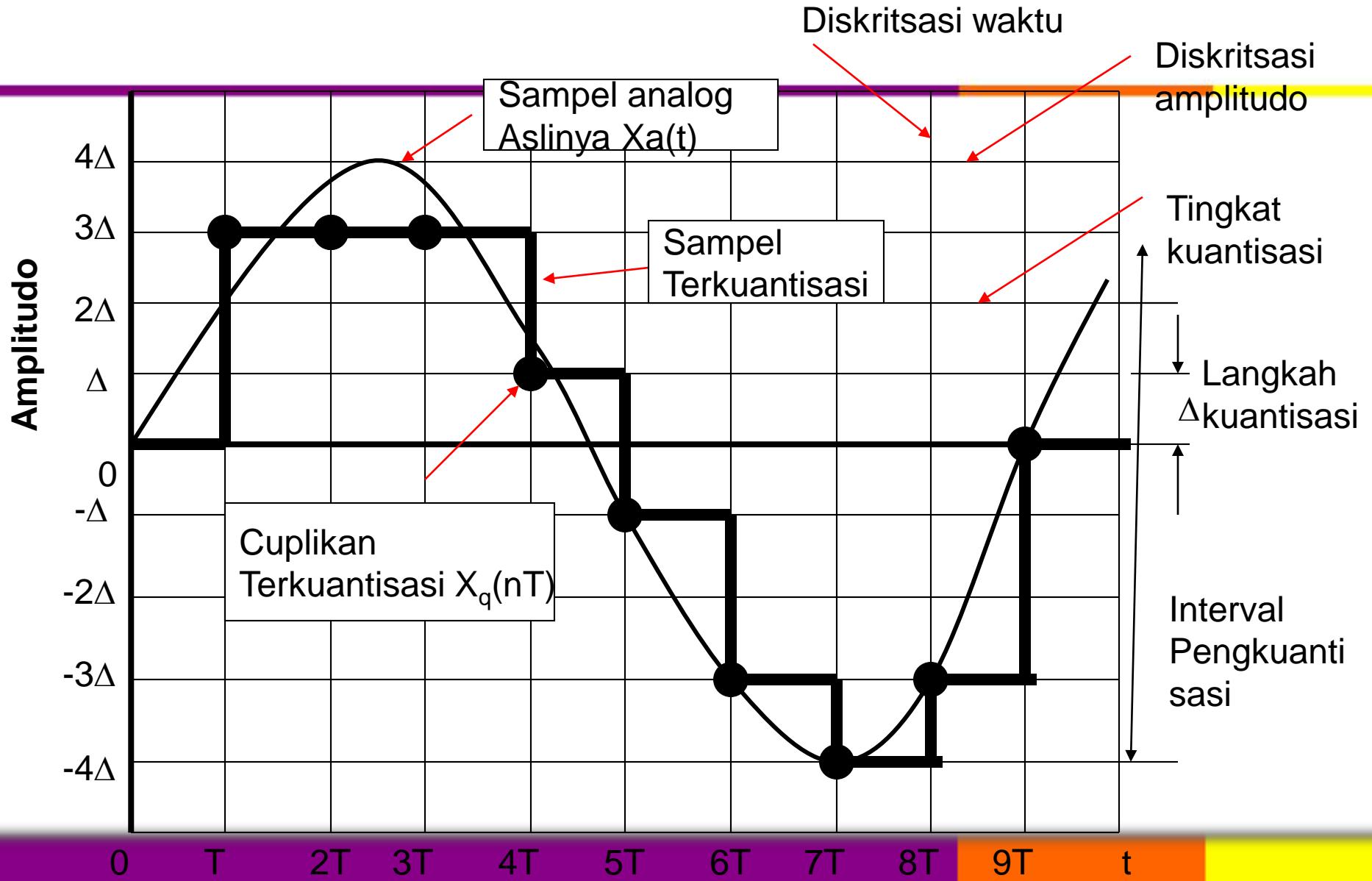
($e_q(n)$)

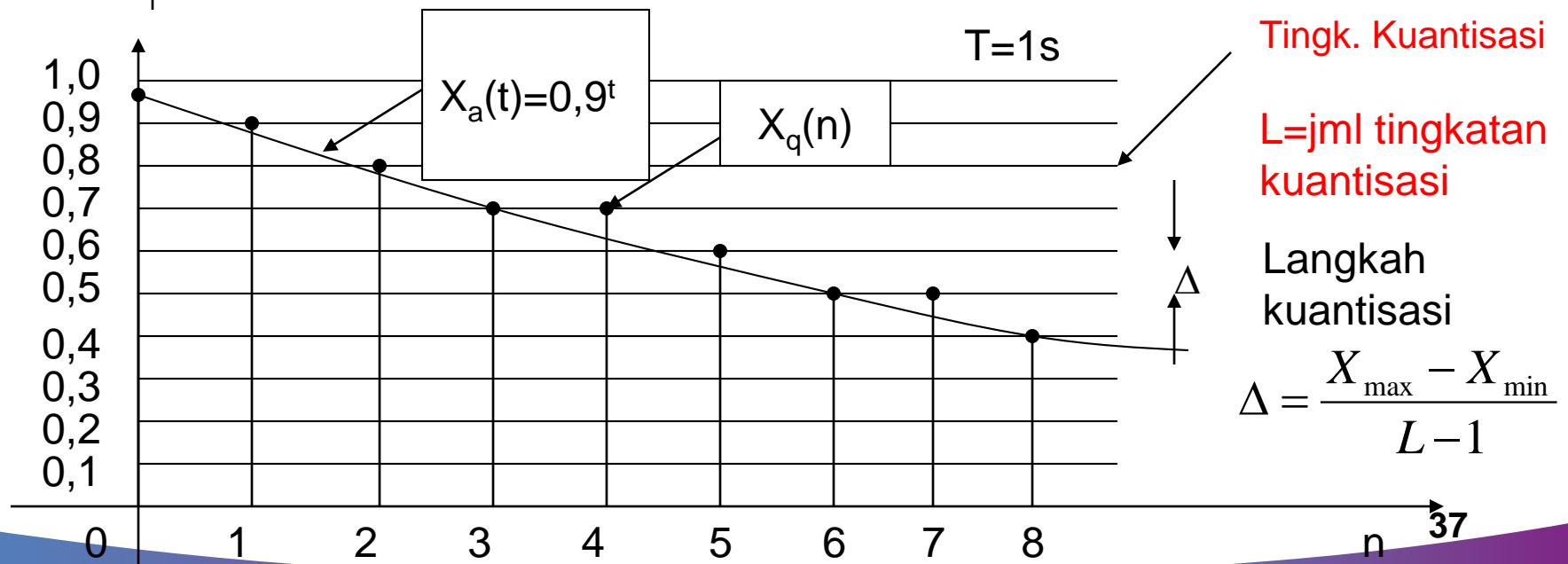
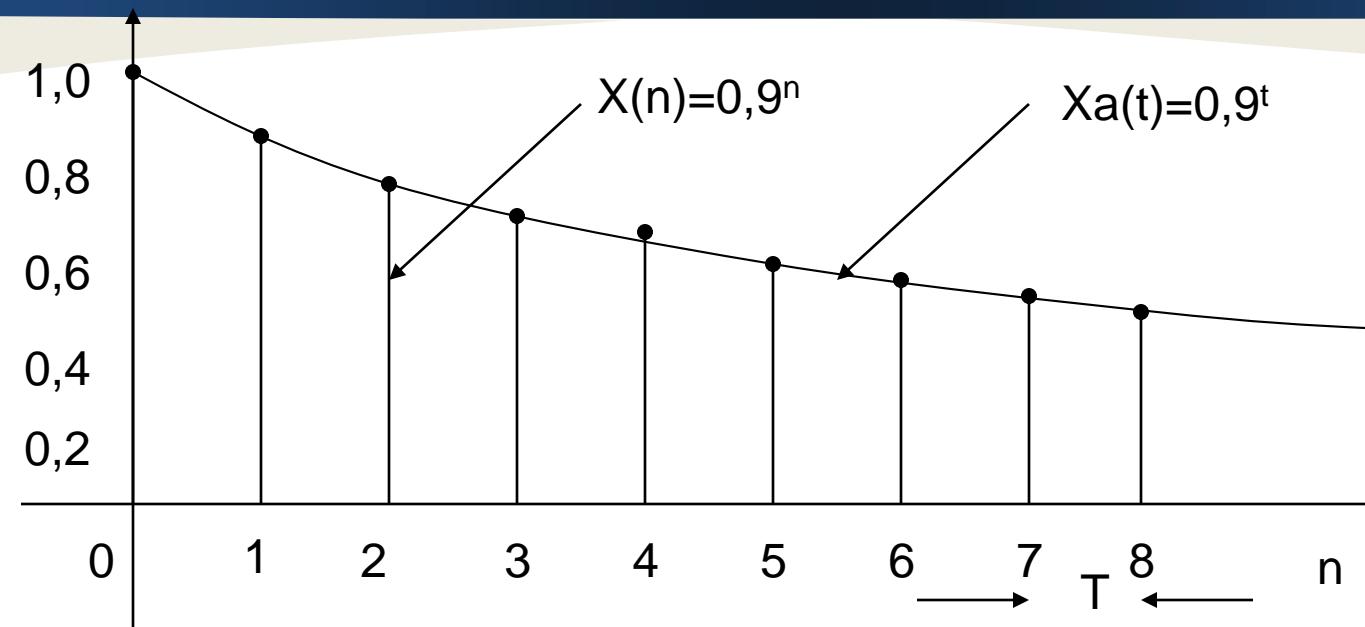
Diperoleh dari kesalahan yang ditampilkan oleh sinyal bernilai kontinu dengan himpunan tingkat nilai diskrit berhingga.

Sec Matematis, merupakan deret dari selisih nilai terkuantisasi dengan nilai cuplikan yang sebenarnya.

$$e_q(n) = X_q(n) - X(n)$$

KUANTISASI SINYAL SINUSOIDA





ADC – Analog to Digital Converter

Resolusi ADC

- Resolusi ADC menentukan **ketelitian** nilai hasil konversi ADC.
- Sebagai contoh: ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ($2^n - 1$) nilai diskrit.
- ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit.
- Dari contoh diatas ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit.

ADC – Analog to Digital Converter

Resolusi ADC

- Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi.
- Sebagai contoh, bila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio input terhadap referensi adalah 60%.

ADC – Analog to Digital Converter

Resolusi ADC

- Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ (bentuk decimal) atau 10011001 (bentuk biner)
- signal = (sample/max_value) * reference_voltage
- = $(153/255) * 5$
- = 3 Volts

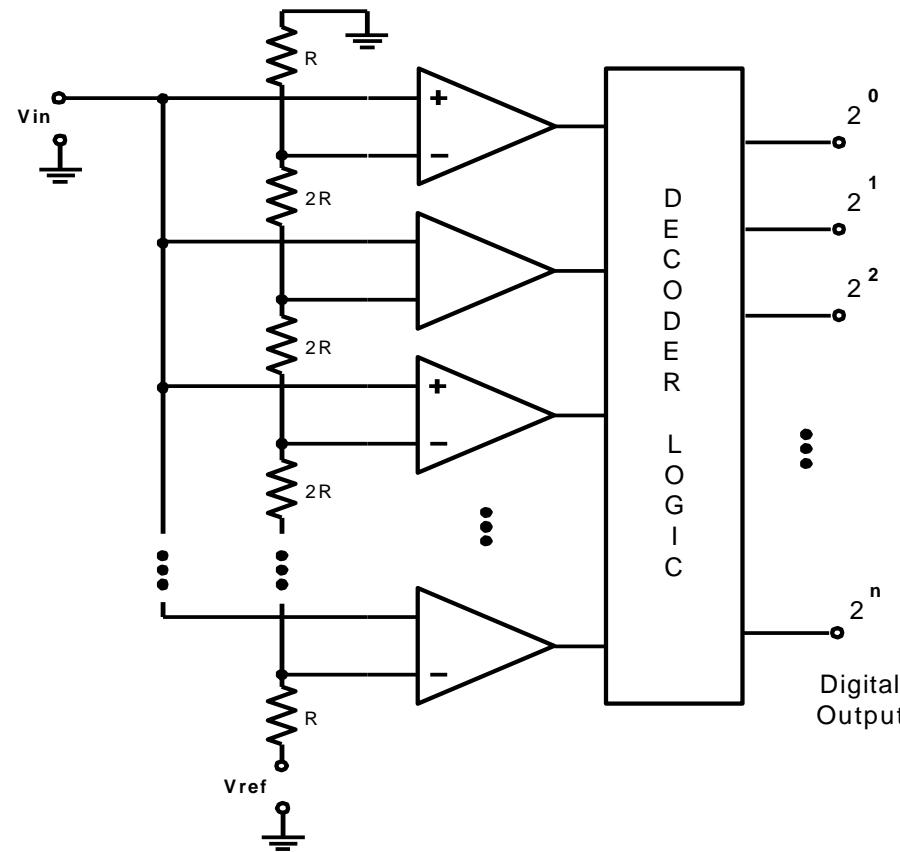
ADC – Analog to Digital Converter

D	C	B	A	N
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

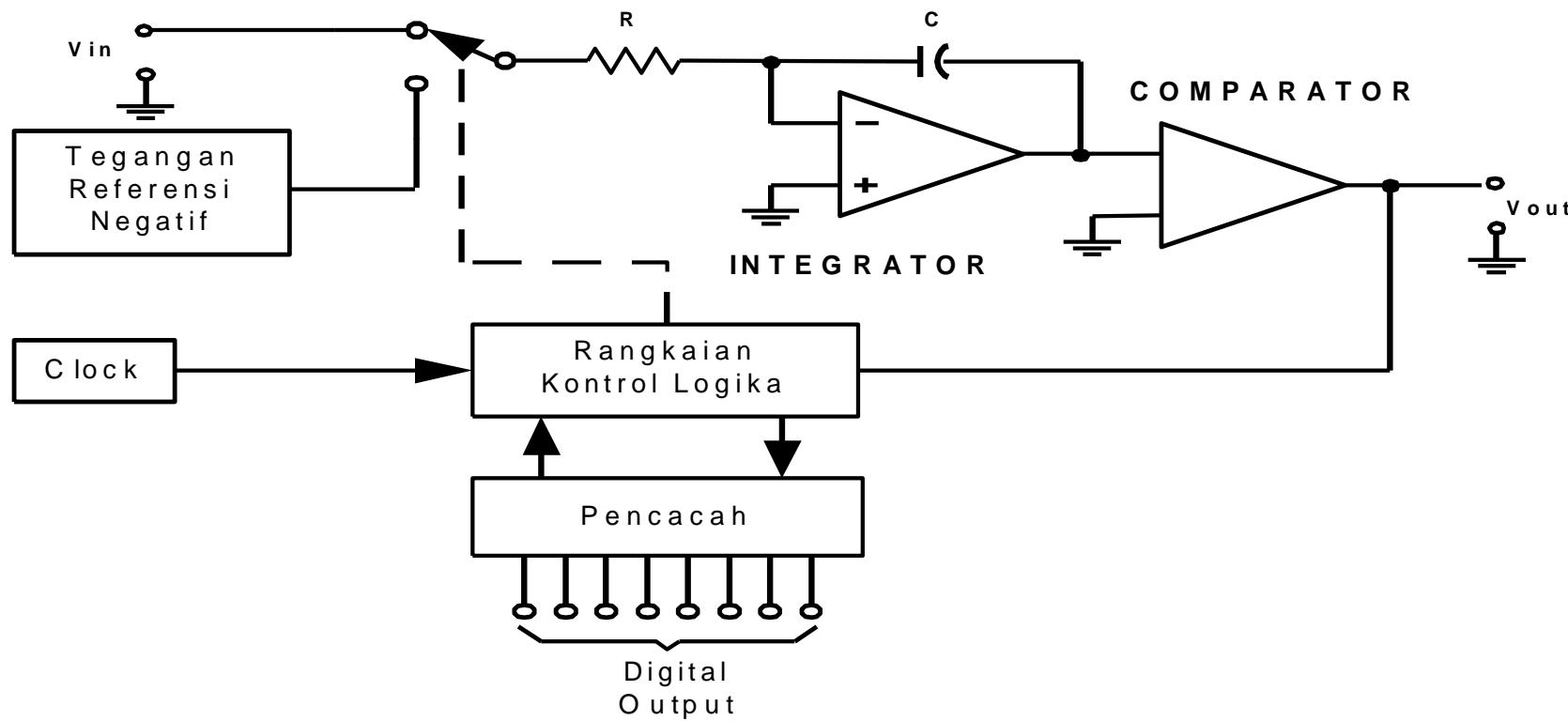
ADC – Analog to Digital Converter

- Banyak sekali prinsip dari ADC, tetapi yang cukup terkenal dan banyak dipakai adalah :
 - ADC Paralel / Langsung (Parallel / Flash ADC)
 - ADC Integrasi (Dual Slope Integrating ADC)
 - ADC Pendekatan berurutan (Successive Approximation ADC)

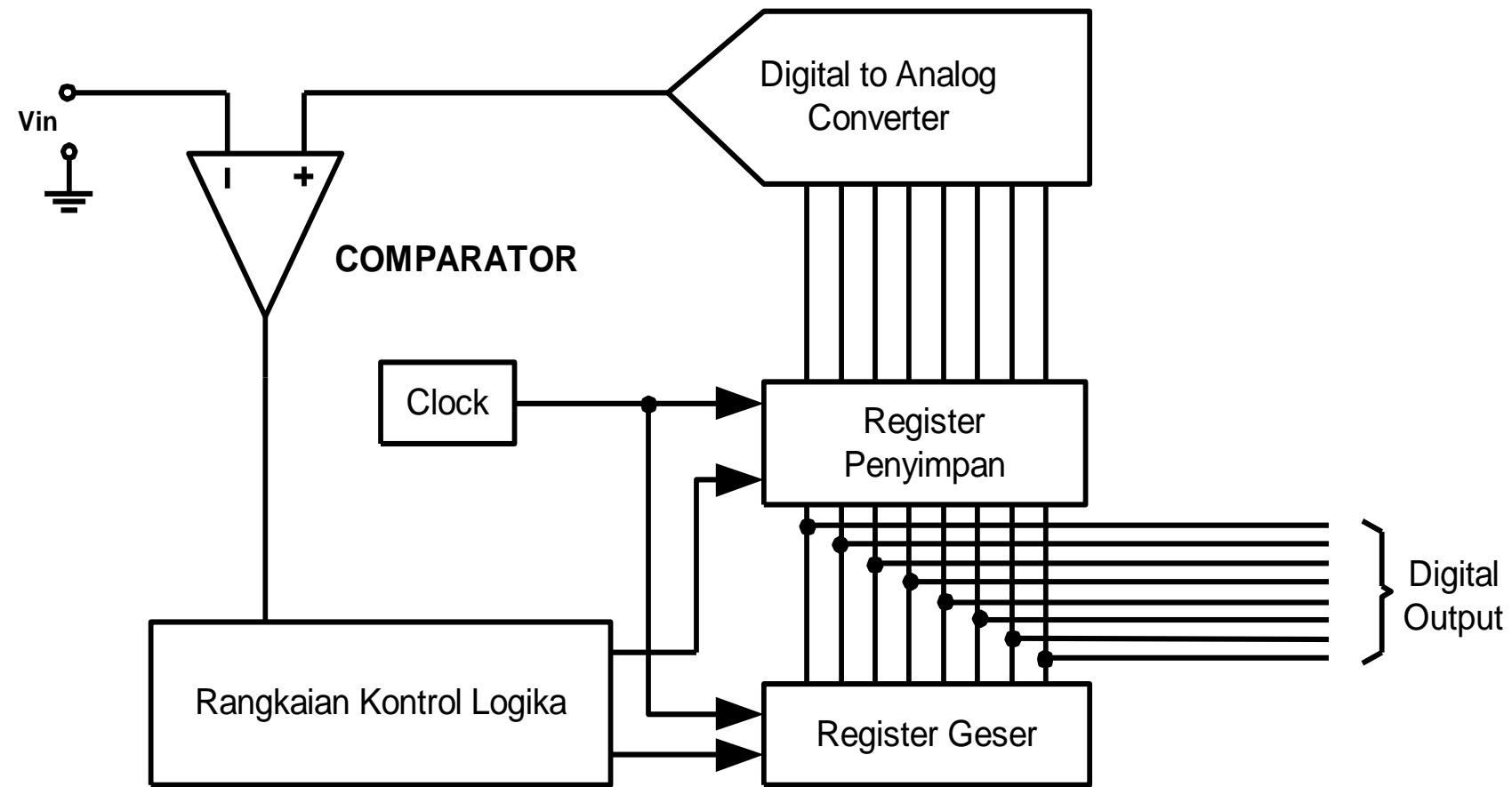
ADC – Analog to Digital Converter



ADC – Analog to Digital Converter



ADC – Analog to Digital Converter



Successive approximation

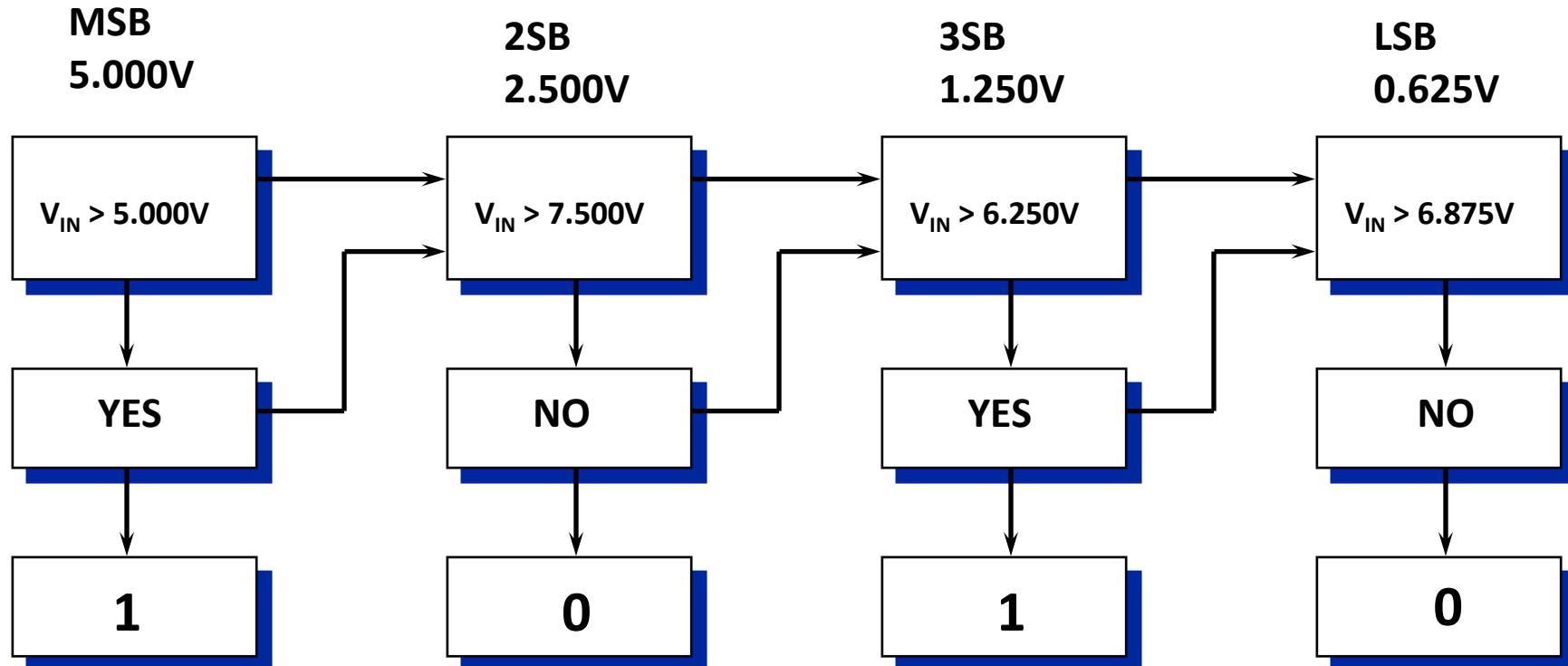
- ❖ A Successive Approximation Register (SAR) is added to the circuit
- ❖ Instead of counting up in binary sequence, this register counts by trying all values of bits starting with the MSB and finishing at the LSB.
- ❖ The register monitors the comparators output to see if the binary count is greater or less than the analog signal input and adjusts the bits accordingly

Continue

- ❖ The SAR architecture mainly uses the binary search algorithm
- ❖ The SAR ADC consists of fewer blocks such as one comparator, one DAC (Digital to Analog Converter) and one control logic.
- ❖ The algorithm is very similar to like searching a number from telephone book

How Successive Approximation Works

Example : analog input = 6.428v, reference = 10.000v



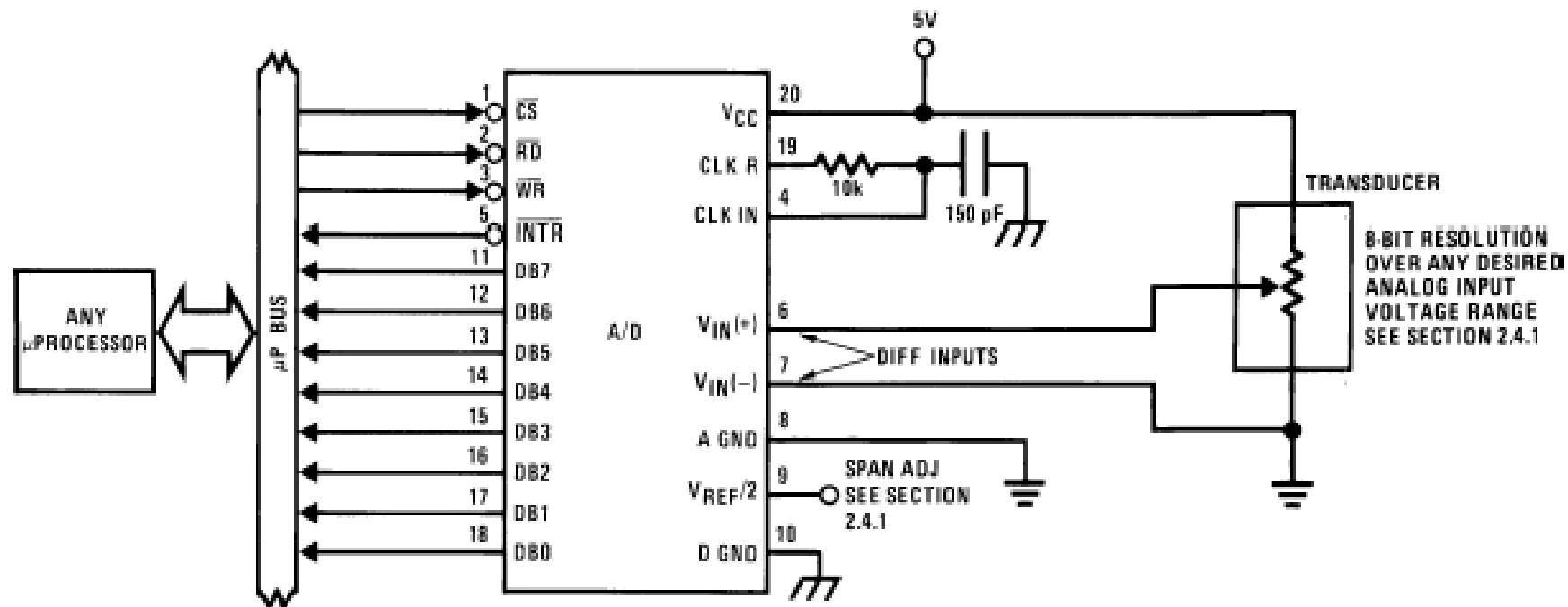
Applications

- ❖ Scanner : when you scan a picture with a scanner , what scanner is doing is an analog to digital conversion : it is taking the analog information provided by the picture(light) and converting into digital
- ❖ Recording a voice : when u=you record your voice or use a VoIP solution on your computer you r using analog to digital converter to convert you voice , which is analog into digital information

ADC – Analog to Digital Converter

- Dari tiga jenis ADC diatas, sudah banyak terdapat ADC yang terintegrasi menjadi suatu serpih (IC) yang mudah dalam penggunaannya.
- Contohnya adalah National Semiconductor ADC

ADC – Analog to Digital Converter



Contoh Aplikasi ADC sebagai rangkaian pengendali sensor yang terhubung ke komputer

$$\text{DATA ADC} : \frac{v_{in}}{v_{ref}} \times \text{Max Data}$$

ADC – Analog to Digital Converter

- Dari empat jenis ADC diatas, sudah banyak terdapat ADC yang terintegrasi menjadi suatu serpih (IC) yang mudah dalam penggunaannya. Contohnya adalah National Semiconductor ADC 0801 yang menggunakan prinsip Successive Approximation

Contoh pada ADC 0804

Untuk operasi normal, menggunakan Vcc = +5 Volt sebagai tegangan referensi.

Dalam hal ini jangkauan masukan analog mulai dari 0 Volt sampai 5 Volt (skala penuh), karena IC ini adalah SAC 8-bit, resolusinya akan sama dengan :

$$\text{Resolusi} = \left(\frac{\text{tegangan skala penuh}}{2^n - 1} \right) = \frac{5 \text{ Volt}}{255} = 19,6 \text{ mVolt}$$

Artinya : setiap kenaikan 1 bit, kenaikan tegangan yang dikonversi sebesar 19,6 mVolt

Latihan

- Suatu rangkaian ADC dengan IC 0804 diberikan input tegangan Analog sebesar 3 volt, tegangan referensi di set 5 volt. Berapa data digital outputnya?

$$\begin{aligned} \text{IC 0804} &= 8 \text{ bit} \\ &= 2^8 - 1 = 255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Data ADC} &= \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times \text{Max Data} \\ &= \frac{3}{5} \times 255 \\ &= 153_{(10)} \\ &= 1001\ 1001_{(2)} \end{aligned}$$

Latihan

- Suatu rangkaian mikrokontroler AVR ATMEGA16 membaca data digital di salah satu pin ADCnya adalah 0111110100. Dengan diketahui bahwa pin AREFnya dihubungkan ke tegangan sumber 5 volt. Berapakah tegangan input pada pin ADCnya ?

$$2^{10} - 1 = 1023$$

$$\text{Data digital output} = 0111110100_{(2)} = 500_{(10)}$$

$$\text{Data ADC} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times \text{Max Data}$$

$$500 = \frac{V_{in}}{5} \times 1023$$

$$\begin{aligned} V_{in} &= \frac{(500 \times 5)}{1023} \\ &= 2,44 \end{aligned}$$