

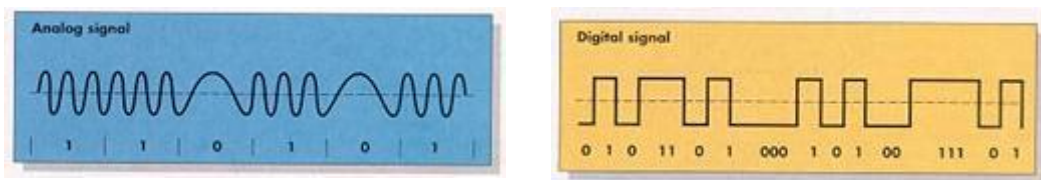
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sinyal

Sinyal adalah suatu isyarat untuk melanjutkan atau meneruskan suatu kegiatan. Biasanya sinyal ini berbentuk tanda-tanda, lampu-lampu, suara-suara, dll. Dalam kereta api, misalnya, sinyal berarti suatu tanda untuk melanjutkan atau meneruskan perjalanan ke tempat/stasiun berikutnya, dan biasanya sinyal ini dikirimkan oleh stasiun yang terkait. Dalam dunia elektronika, dikenal dua macam sinyal yaitu sinyal analog dan sinyal digital. Secara umum, sinyal didefinisikan sebagai suatu besaran fisis yang merupakan fungsi waktu, ruangan atau beberapa variabel.

Ada 2 macam Sinyal, yaitu Sinyal analog dan Sinyal digital.

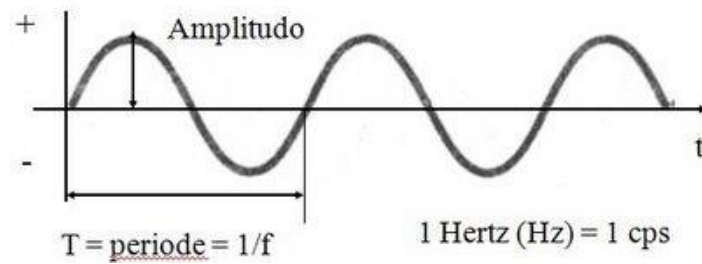


Gambar 2.1 Perbedaan Sinyal Analog dan Sinyal Digital

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

##### 2.1.1 Sinyal Analog

Sinyal analog adalah sinyal yang berupa gelombang elektromagnetik dan bergerak atas dasar frekuensi. Frekuensi adalah jumlah getaran bolak balik sinyal analog dalam satu siklus lengkap per detik. Satu siklus lengkap terjadi saat gelombang berada pada titik bertegangan nol, menuju titik bertegangan positif tertinggi pada gelombang, menurun ke titik tegangan negatif dan menuju ke titik nol kembali (lihat gambar). Semakin tinggi kecepatan atau frekuensinya semakin banyak siklus lengkap yang terjadi pada suatu periode tertentu. Kecepatan frekuensi tersebut dinyatakan dalam hertz. Sebagai contoh sebuah gelombang yang berayun bolak balik sebanyak sepuluh kali tiap detik berarti memiliki kecepatan sepuluh hertz.



Gambar 2.2 Sinyal Analog

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

Sinyal analog merupakan sinyal untuk menampilkan data analog. Sinyal analog berupa berbagai macam gelombang elektromagnetik yang langsung, terus menerus disebarkan terus menerus melalui berbagai media transmisi.

Sinyal analog juga disebut dengan *broadband* merupakan gelombang-gelombang elektronik yang bervariasi dan secara kontinu di transmisikan melalui beragam media tergantung transmisinya. sinyal analog bisa di ubah ke bentuk sinyal digital dengan dimodulasi terlebih dahulu.

Sinyal analog bekerja dengan mentransmisikan suara dan gambar dalam bentuk gelombang kontinu (*continous varying*). Dua parameter/karakteristik terpenting yang dimiliki oleh isyarat analog adalah *amplitude* dan frekuensi. Isyarat analog biasanya dinyatakan dengan gelombang sinus, mengingat gelombang sinus merupakan dasar untuk semua bentuk isyarat analog. Hal ini didasarkan kenyataan bahwa berdasarkan analisis *fourier*, suatu sinyal analog dapat diperoleh dari perpaduan sejumlah gelombang sinus. Dengan menggunakan sinyal analog, maka jangkauan transmisi data dapat mencapai jarak yang jauh, tetapi sinyal ini mudah terpengaruh oleh *noise*. Gelombang pada sinyal analog yang umumnya berbentuk gelombang sinus memiliki tiga variable dasar, yaitu amplitudo, frekuensi dan *phase*.

Sinyal analog bekerja dengan mentransmisikan suara dan gambar dalam bentuk gelombang kontinu (*continous varying*). Misalnya ketika seseorang berkomunikasi dengan menggunakan telepon, maka suara yang dikirim melalui jaringan telepon tersebut dilewatkan melalui gelombang. Dan kemudian, ketika gelombang ini diterima, maka gelombang tersebutlah yang

diterjemahkan kembali ke dalam bentuk suara, sehingga si penerima dapat mendengarkan apa yang disampaikan oleh pembicara lainnya dari komunikasi tersebut.

Sinyal analog merupakan pemanfaatan gelombang elektromagnetik. Proses pengiriman suara, misalnya pada teknologi telepon, dilewatkan melalui gelombang elektromagnetik ini, yang bersifat *variable* dan berkelanjutan.

Pada sistem analog, terdapat *amplifier* di sepanjang jalur transmisi. Setiap *amplifier* menghasilkan penguatan (*gain*), baik menguatkan sinyal pesan maupun *noise* tambahan yang menyertai di sepanjang jalur transmisi tersebut. Pada sistem digital, *amplifier* digantikan *regenerative repeater*. Fungsi *repeater* selain menguatkan sinyal, juga “membersihkan” sinyal tersebut dari *noise*. Pada sinyal “*unipolar baseband*”, sinyal input hanya mempunyai dua nilai – 0 atau 1. Jadi *repeater* harus memutuskan, mana dari kedua kemungkinan tersebut yang boleh ditampilkan pada interval waktu tertentu, untuk menjadi nilai sesungguhnya di sisi terima.

- Amplitudo merupakan ukuran tinggi rendahnya tegangan dari sinyal analog.
- Frekuensi adalah jumlah gelombang sinyal analog dalam satuan detik.
- *Phase* adalah besar sudut dari sinyal analog pada saat tertentu.

Keuntungan utama dari sebuah sinyal analog adalah bahwa itu jauh lebih murah daripada sinyal digital. Jika Anda memiliki TV lebih tua, telepon atau sistem stereo, tidak akan mampu menerjemahkan kejelasan digital dengan cara yang sama. Analog juga mereproduksi kehalusan dan varians dari suara lebih mudah, karena sinyal yang dapat bervariasi dalam nada. Bagi mereka yang tidak terlalu khawatir tentang kejelasan tambahan, analog dapat bekerja dengan baik, hal itu dilakukan sehingga cukup untuk sementara tanpa banyak keluhan.

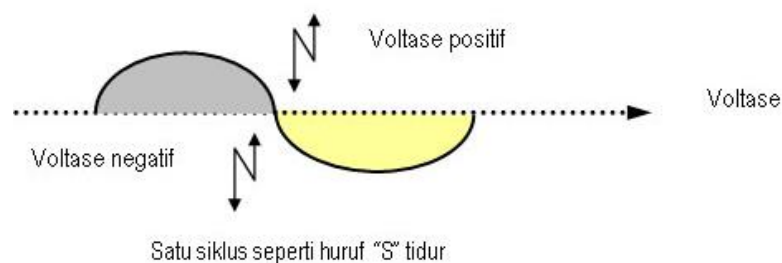
Kerugian Sinyal analog adalah pengiriman sinyal analog dapat dianalogikan mengirim air lewat pipa. Aliran pipa kehilangan tenaganya saat disalurkan melalui sebuah pipa. Semakin jauh pipa semakin banyak tenaga yang berkurang dan aliran semakin menjadi lemah. Demikian pula sinyal

analog akan menjadi lemah setelah melewati jarak yang jauh. Selain bertambah jauh sinyal analog juga memungut interferensi elektrik atau “noise” dari dalam jalur. Kabel listrik, petir dan mesin-mesin listrik semua menginjeksikan *noise* dalam bentuk elektrik pada sinyal analog. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka diperlukan alat penguat sinyal yang disebut *amplifier*.

Berbagai contoh sistem analog :

- Perekam pita *magnetic*
- Penguat audio
- Suara

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

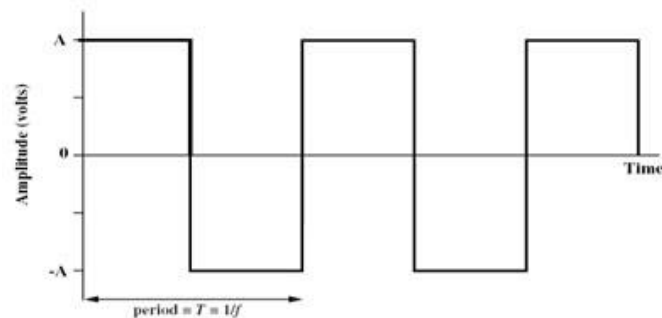


Gambar 2.3 Satu Siklus Gelombang Analog

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

### 2.1.2 Sinyal Digital

Sinyal digital merupakan hasil teknologi yang dapat mengubah sinyal menjadi kombinasi urutan bilangan 0 dan 1 (juga dengan biner), sehingga tidak mudah terpengaruh oleh derau, proses informasinya pun mudah, cepat dan akurat, tetapi transmisi dengan sinyal digital hanya mencapai jarak jangkauan pengiriman data yang relatif dekat. Biasanya sinyal ini juga dikenal dengan sinyal diskret. Sinyal yang mempunyai dua keadaan ini biasa disebut dengan bit. Bit merupakan istilah khas pada sinyal digital. Sebuah bit dapat berupa nol (0) atau satu (1). Kemungkinan nilai untuk sebuah bit adalah 2 buah ( $2^1$ ). Kemungkinan nilai untuk 2 bit adalah sebanyak 4 ( $2^2$ ), berupa 00, 01, 10, dan 11. Secara umum, jumlah kemungkinan nilai yang terbentuk oleh kombinasi  $n$  bit adalah sebesar  $2^n$  buah.



Gambar 2.4 Sinyal Digital

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

Sinyal digital juga disebut dengan *baseband*, memuat denyut voltase yang ditransmisikan melalui media kawat. Sebuah sistem digital adalah sebuah teknologi data yang menggunakan diskrit (diskontinu) nilai. Kata digital berasal dari sumber yang sama seperti kata digit dan digitus (dalam bahasa Latin kata untuk jari), seperti jari diskrit digunakan untuk menghitung. Semua informasi digital memiliki sifat-sifat umum yang membedakannya dari metode komunikasi analog.

Sinkronisasi adalah informasi digital yang disampaikan oleh simbol urutan yang diperintahkan, semua skema digital memiliki beberapa metode untuk menentukan awal sebuah urutan, *capitalization*, and *punctuation*. Semua komunikasi digital memerlukan bahasa, yang dalam konteks ini terdiri dari semua informasi bahwa pengirim dan penerima harus komunikasi digital kedua miliki, di muka, agar komunikasi untuk sukses. Gangguan (*noise*) dalam komunikasi analog selalu memperkenalkan beberapa, umumnya penyimpangan atau kesalahan kecil antara dimaksudkan dan komunikasi aktual. Gangguan dalam komunikasi digital tidak mengakibatkan gangguan kecuali kesalahan sangat besar untuk menghasilkan sebuah simbol yang disalahartikan sebagai simbol lainnya atau mengganggu urutan simbol-simbol. Kesalahan dalam komunikasi digital dapat mengambil bentuk kesalahan substitusi di mana simbol digantikan dengan simbol lain.

Sinyal-sinyal digital dapat disimpan pada media magnetik (berupa tape atau disk) tanpa mengalami pelemahan atau distorsi data sinyal yang bersangkutan. Metode-metode pemrosesan sinyal digital juga membolehkan implementasi algoritma-algoritma pemrosesan sinyal yang lebih canggih. Implementasi digital sistem pemrosesan sinyal lebih murah dibandingkan secara analog. Hal ini disebabkan karena perangkat keras digital lebih murah, atau mungkin karena implementasi digital memiliki fleksibilitas untuk dimodifikasi. Kelebihan-kelebihan pemrosesan sinyal digital yang telah disebutkan sebelumnya menyebabkan pemrosesan sinyal digital lebih banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun implementasi digital tersebut memiliki keterbatasan, dalam hal kecepatan konversi A/D dan pengolah sinyal digital yang bersangkutan.

Sistem digital merupakan bentuk sampling dari *system* analog. digital pada dasarnya di *code*-kan dalam bentuk biner (atau Hexa). besarnya nilai suatu system digital dibatasi oleh lebarnya / jumlah bit (*bandwidth*). jumlah bit juga sangat mempengaruhi nilai akurasi system digital.

Sinyal digital ini memiliki berbagai keistimewaan yang unik yang tidak dapat ditemukan pada teknologi analog yaitu :

- Mampu mengirimkan informasi dengan kecepatan cahaya yang dapat membuat informasi dapat dikirim dengan kecepatan tinggi.
- Penggunaan yang berulang – ulang terhadap informasi tidak mempengaruhi kualitas dan kuantitas informasi itu sendiri.
- Informasi dapat dengan mudah diproses dan dimodifikasi ke dalam berbagai bentuk.
- Dapat memproses informasi dalam jumlah yang sangat besar dan mengirimnya secara interaktif.

Pengolahan sinyal digital memerlukan komponen-komponen digital, register, *counter*, *decoder*, mikroprosesor, mikrokontroler dan sebagainya.

Keuntungan dari sistem komunikasi digital adalah bahwa kita berhubungan dengan nilai-nilai, bukan dengan bentuk gelombang. Nilai-nilai bisa dimanipulasi dengan rangkaian rangkaian logika, atau jika perlu, dengan

mikroprosesor. Karena sinyal digital terdiri dari kode biner, mereka dapat melakukan perjalanan melalui jalur digital yang jauh lebih cepat. Hal ini memungkinkan lebih banyak data yang akan ditransfer, yang menghasilkan sinyal, lebih tajam lebih jelas. Sinyal digital juga tidak memiliki distorsi dan "mendesis" dari sinyal analog, yang selanjutnya meningkatkan kejelasan (meskipun beberapa akan berpendapat pada biaya nuansa). Dalam hal sinyal telepon, 1s 0s dan membuatnya lebih sulit bagi penyadap untuk mendengarkan, serta meningkatkan jangkauan telepon nirkabel dan ponsel.

Secara mudahnya, digital itu adalah 0 dan 1, atau logika biner, atau diskrit, sedang analog adalah *continous*. Digital bisa dilihat sebagai analog yang dicuplik/di sampling, kalau samplingnya semakin sering atau deltanya makin kecil, katakan mendekati nol, maka sinyal digital bisa terlihat menjadi analog kembali. Menghitung sinyal digital lebih gampang karena diskrit, sedangkan analog harus menggunakan diferensial integral.

Kalau alat-alat yang digital, itu yang dibuat dan bekerja didasarkan pada prinsip digital, ini lebih gampang dari analog, tapi sekarang ini analog menjadi trend lagi, karena digital dengan clock yg makin kecil Gega Herzt atau lebih, perilakunya sudah menjadi seperti rangkaian analog, jadi diperlukan ahli-ahli rangkaian analog. kalau untuk telekomunikasi, mau tidak mau masih melibatkan analog, karena harus menggunakan sinyal pembawa (*carrier*), komunikasi digitalpun hanya datanya yg didigitalkan (data digital (0-1) dimodulasi dengan carrier sinyal analog) di akhirnya harus diubah lagi jadi analog. Kalau contoh komponen yg bekerja dengan prinsip analog : Transistor, Tabung TV, IC-IC TTL, IC Catu daya. Digital : IC logika, *microcontroller*, FPGA. Rangkaian analog adalah kebutuhan dasar yang tak tergantikan di banyak sistem yang kompleks, dan menuntut kinerja yang tinggi. Berbagai contoh sistem digital saat ini (sebelumnya sistem analog):

a. *Audio recording (CDs, DAT, mp3)*

b. *Phone system switching*

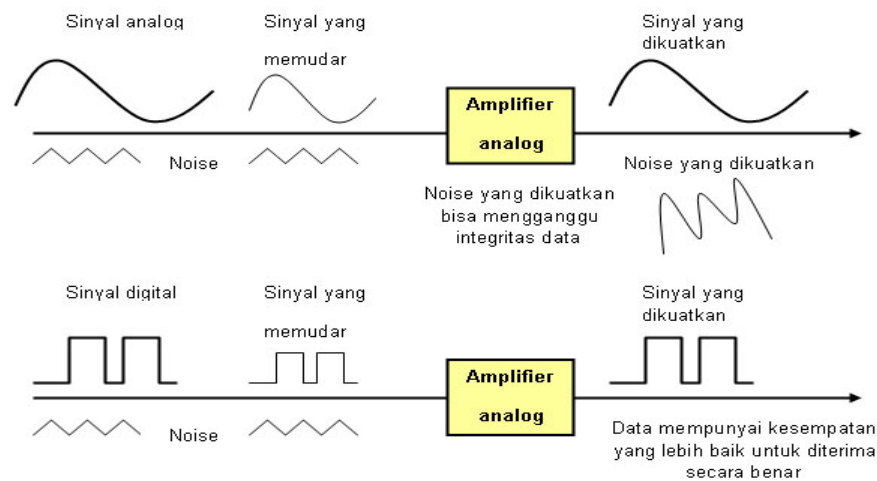
c. *Automobile engine control*

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

Tabel 2.1 Perbedaan Sinyal Analog dan Sinyal Digital

ANALOG	DIGITAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Teknologi lama</u></li> <li>▪ <u>Dirancang untuk voice</u></li> <li>▪ <u>Tidak efisien untuk data</u></li> <li>▪ <u>Permasalahan : noisy dan rentan error</u></li> <li>▪ <u>Kecepatan lebih rendah</u></li> <li>▪ <u>Overhead tinggi</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Teknologi baru</u></li> <li>▪ <u>Dirancang untuk voice dan data</u></li> <li>▪ <u>Opsi-opsi pengujian yang lebih lengkap</u></li> <li>▪ <u>Informasi discrete-level</u></li> <li>▪ <u>Kecepatan lebih tinggi</u></li> <li>▪ <u>Overhead rendah</u></li> <li>▪ <u>Setiap signal digital dapat dikonversikan ke analog</u></li> </ul>

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

Gambar 2.5 Perbedaan Sinyal Analog dan Sinyal Digital menggunakan *Amplifier*

(Sumber : <http://itsac.academia.edu/DigdyoSantoso>, diunduh 12 Maret 2018)

## 2.2. Konverter

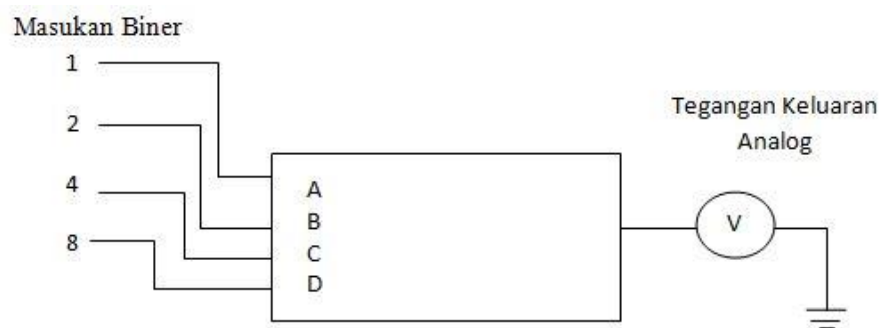
Konverter atau Pengubah adalah perangkat elektronika yang dapat mengubah arus ataupun sinyal. Misalkan dari arus AC menjadi DC atau sebaliknya, dan bisa juga mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital ataupun sebaliknya. Namun saya hanya akan menjelaskan mengenai pengubah



sinyal digital menjadi analog atau yang sering disebut DAC (*Digital to Analog Converter*). (Sumber : Roger L. Tokheim dan Sutisna, 1996 : 295).

### 2.2.1 Digital to Analog Converter (DAC)

DAC (*Digital To Analog Converter*) merupakan perangkat atau rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah suatu isyarat digital (kode-kode) menjadi isyarat analog (tegangan analog) sesuai harga dari isyarat digital tersebut. DAC dapat dibangun menggunakan penguat penjumlah inverting dari sebuah operasional *amplifier* (Op-Amp) yang diberikan sinyal input berupa data logika digital 0 dan 1. Tugas pengubah D/A ialah mentransformasikan masukan digital menjadi keluaran analog. (Roger L. Tokheim dan Sutisna, 1996 : 295).



Gambar 2.6 Diagram Blok DAC

(Sumber : Roger L. Tokheim dan Sutisna, 1996 : 295)

Tabel 2.2 Tabel Kebenaran DAC

Baris	Masukkan Biner				Masukkan Analog
	D (8-an)	C (4-an)	B (2-an)	A (1-an)	Vout
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3

5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9
11	1	0	1	0	10
12	1	0	1	1	11
13	1	1	0	0	12
14	1	1	0	1	13
15	1	1	1	0	14
16	1	1	1	1	15

(Sumber : Roger L. Tokheim dan Sutisna, 1996 : 295)

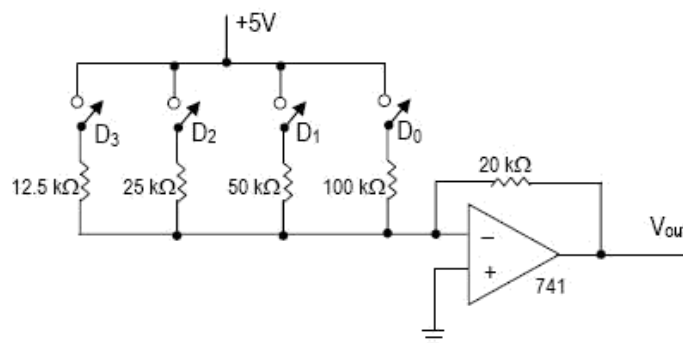
Umumnya, DAC adalah kode digital yang menampilkan nilai digital yang diubah ke tegangan atau arus analog. Tabel 2.2 adalah daftar kode biner general 4-bit DAC. Dan masukan digital terminal D1, D2, D3, dan D0 dimanipulasi dengan register pada sistem digital. Kode 4-bit menampilkan  $2^4 = 16$  grup nilai biner. Untuk setiap masukan kode biner, DAC akan menghasilkan keluaran tegangan ( $V_{out}$ ), yang dua kali atau lebih dari susunan nilai biner. Berdasarkan hal ini, keluaran tegangan analog  $V_{out}$  dan masukan biner digital adalah sama. Jika keluaran DAC adalah arus  $I_{out}$ , teorinya juga akan sama. Gambar 2.6 adalah blok diagram dasar DAC. Tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dihubungkan pada jaringan resistor, kode masukan digital digunakan untuk mengendalikan perbedaan pergantian dan juga untuk menentukan apakah  $V_{ref}$  terhubung dengan jaringan resistor atau tidak. Biasanya, keluaran analog DAC ditunjukkan dengan arus, jika kita ingin memperoleh keluaran tegangan, kita harus menghubungkannya dengan sebuah operational *amplifier*.

Jaringan resistor adalah struktur utama dari rangkaian DAC, sebagian besar rangkaian yang berkaitan adalah konverter resistor *binary-*

*weight* dan tangga R-2R jaringan resistor. Tetapi kerugian pada konverter resistor *binary-weight* adalah nilai resistornya terlalu besar. Karena itu tergantung pada tingginya tingkat akurasi, rentang nilai resistor susah untuk diketahui, khususnya untuk *integrated circuit* (IC), yang merupakan masalah besar. Tetapi untuk tangga R-2R jaringan resistor hanya dibutuhkan dua nilai resistor yang merupakan R dan 2R. Nilai resistornya sederhana dan dikalikan dua, untuk itu tidak terlalu sulit untuk menampilkan pada *integrated circuit* (IC). ( Sumber : Susanti,Eka dkk. 2017).

### 2.2.2 Binary Weighted DAC

Sebuah rangkaian *Binary-weighted DAC* dapat disusun dari beberapa Resistor dan *Operational Amplifier* seperti gambar 2.7. Resistor 20 k $\Omega$  menjumlahkan arus yang dihasilkan dari penutupan *switch-switch* D<sub>0</sub> sampai D<sub>3</sub>. Resistor-resistor ini diberi skala nilai sedemikian rupa sehingga memenuhi bobot biner (*binary-weighted* ) dari arus yang selanjutnya akan dijumlahkan menutup D<sub>0</sub>. -1 V pada V<sub>out</sub>. Penutupan masing-masing *switch* menyebabkan penggandaan nilai arus yang dihasilkan dari *switch* sebelumnya.



Gambar 2.7. Rangkaian *Binary Weighted DAC*  
(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 333)

Keluaran V<sub>out</sub> analog dari rangkaian *Binary Weighted DAC* diatas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan untuk mencari V<sub>out</sub> pada rangkaian penguat penjumlah.

(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 333)

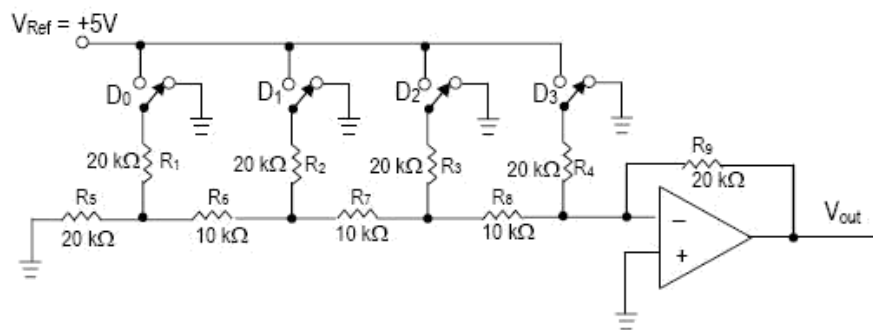
Tabel 2.3. Konversi Dari Nilai Digital Ke Nilai Analog Berdasarkan Rangkaian Gambar 2.7

<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>1</sub></b>	<b>D<sub>0</sub></b>	<b>V<sub>out</sub> (-V)</b>
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

(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 333)

### 2.2.3 R-2R Ladder DAC

Metode lain dari konversi Digital to Analog adalah *R/2R Ladder*. Metode ini banyak digunakan dalam IC-DAC. Pada rangkaian *R/2R Ladder*, hanya dua nilai resistor yang diperlukan, yang dapat diaplikasikan untuk IC DAC dengan resolusi 8, 10 atau 12 bit.



Gambar 2.8. Rangkaian R/2R Ladder DAC  
(Sumber : Roger L. Tokheim, 1990 : 334)

Prinsip kerja dari rangkaian *R/2R Ladder* adalah sebagai berikut : informasi digital 4 bit masuk ke *switch*  $D_0$  sampai  $D_3$ . *Switch* ini mempunyai kondisi “1” (sekitar 5 V) atau “0” (sekitar 0 V). Dengan pengaturan *switch* akan menyebabkan perubahan arus yang mengalir melalui  $R_9$  sesuai dengan nilai ekuivalen biner-nya. Sebagai contoh, jika  $D_0 = 0$ ,  $D_1 = 0$ ,  $D_2 = 0$  dan  $D_3 = 1$ , maka  $R_1$  akan paralel dengan  $R_5$  menghasilkan 10 kΩ. Selanjutnya 10 kΩ ini seri dengan  $R_6 = 10$  kΩ menghasilkan 20 kΩ. 20 kΩ ini paralel dengan  $R_2$  menghasilkan 10 kΩ, dan seterusnya sampai  $R_7$ ,  $R_3$  dan  $R_8$ . Rangkaian ekuivalennya ditunjukkan pada gambar 6.  $V_{out}$  yang dihasilkan dari kombinasi *switch* ini adalah -5V. Nilai kombinasi dan hasil konversinya ditunjukkan pada tabel 2. Gambar 2.8 adalah diagram rangkaian DAC dengan tangga jaringan resistor 4-bit, karakteristik rangkaian tersebut tidak menjadi masalah dari A, B, C, ataupun D, impedansinya sama. Berdasarkan karakteristik ini, kita bisa menghasilkan keluaran arus sebagai berikut:

$$I = V_{ref} / R \quad (8-1)$$

$$I_D = \frac{1}{2}$$

$$I_C = I_D / 2 = 1/4$$

$$I_B = I_C / 2 = 1/8$$

$$I_A = I_B / 2 = 1/16$$

$$I_{out} = I_D + I_C + I_B + I_A = 1 \left( \frac{D3}{2} + \frac{D2}{4} + \frac{D1}{8} + \frac{D0}{16} \right) \quad (6-2)$$

Dimana D3, D2, D1, dan D0 dapat dibagi menjadi 1 atau 0, jika switch dalam keadaan ON, maka 1 akan sebaliknya menjadi 0. Kita hanya membutuhkan kendali nilai dari D3, D2, D1, dan D0 dengan benar, lalu kita akan mendapatkan keluaran arus  $I_{out}$ .

### 1. Masukan Weight

Masukan weight diilustrasikan dari DAC masukan digital, ketika hanya satu dari bitnya bernilai 1 dan bit lainnya bernilai 0, maka keluaran sinyal DAC akan memanggil masukan weight. Setiap kita membiarkan satu bit D3, D2, D1, dan D0 dalam keadaan tinggi maka keadaan bit lainnya akan rendah atau nol, lalu daya pada bit terendah D0 adalah 1V, D1 adalah 2V, D2 adalah 4V, dan D3 adalah 8V. Untuk setiap bit, masukan weight dimulai dari bit terendah dan bertambah mengikuti weight. Jadi dapat dikatakan bahwa  $V_{out}$  adalah pertambahan dari weight pada masukan digital. Contohnya, untuk mendapatkan  $V_{out}$  pada masukan digital 0111, kita dapat tambahkan bit weight D2, D1, dan D0 dan total nilainya adalah  $4 + 2 + 1 = 7V$ .

### 2. Resolusi dan Step Size

Resolusi DAC diilustrasikan ketika terminal masukan digital mengganti unit, dan akan menghasilkan perubahan kecil pada terminal keluaran analog yang normalnya adalah level LSB. Ketika nilai masukan digital mengubah unitnya,  $V_{out}$  akan berubah setidaknya 1V, maka resolusinya adalah 1V.

Resolusi juga disebut dengan *Step Size* karena  $V_{out}$  akan berubah ketika masukan digital bervariasi. Gambar 2.8 menunjukkan counter biner

4-bit sebagai masukan sinyal digital DAC, *counternya* mempunyai masukan *clock*, jadi dapat mengeluarkan 16 tipe status pada perputarannya. Keluaran gelombang DAC pada setiap langkahnya berganti 1V. Ketika *counter* 1111, keluaran DAC akan bernilai maksimum, yaitu 15V. Kita sebut situasi ini dengan keluaran *full-scale*. Ketika *counter* 0000, maka keluaran DAC adalah 0V. Resolusi dari *step size* ini diindikasikan pada perbedaan antara kedua langkah. Contohnya, jika *step size* adalah 1V, maka perbedaan langkah keduanya adalah 1V.

### 3. Konverter DAC 0800 Digital ke Analog

DAC 0800 murah dan biasanya menggunakan DAC 8-bit rangkaian internalnya terdiri dari referensi tegangan *power supply*, tangga jaringan resistor R-2R dan switch transistor. Tegangan *power supply*nya antara  $\pm 4.5V$  hingga  $\pm 18V$ , dibawah kondisi  $\pm 5V$ , rugi-rugi dayanya kurang lebih 33mW dan tetap pada 85 ns. Gambar 2.15 adalah pin diagram DAC0800.

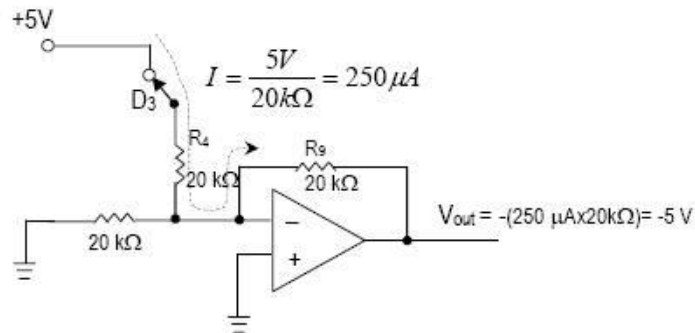
Tegangan referensi positifnya adalah + 5V dan melewati R1 terhubung ke Vref (+) (pin 14). Referensi tegangan negatifnya adalah GND dan melewati R2 terhubung pada Vref (-) (pin 15). (Susanti,Eka.2017)

Referensi arus Iref melewati R1 bisa diekspresikan dengan:

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R1}$$

Pada arus keluaran (pin 4), keluaran arus I<sub>ref</sub> nya adalah:

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R1} \left( \frac{D7}{2} \frac{D6}{4} \frac{D5}{8} \frac{D4}{16} \frac{D3}{32} + \frac{D2}{64} + \frac{D1}{128} + \frac{D0}{256} \right)$$



Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen R-2R *Ladder*  
(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 335)

Untuk mendapatkan  $V_{out}$  analog dari rangkaian R/2R Ladder DAC diatas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_{out} = (-V_{ref}(R_9/R)) * ((D_0/16) + (D_1/8) + (D_2/4) + (D_3/2))$$

(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 335)

Tabel 2.4 Konversi dari nilai digital ke nilai analog berdasarkan rangkaian gambar

2.9

D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	V <sub>out</sub> (-V)
0	0	0	0	0.000
0	0	0	1	0.625
0	0	1	0	1.250
0	0	1	1	1.875
0	1	0	0	2.500
0	1	0	1	3.125
0	1	1	0	3.750
0	1	1	1	4.375
1	0	0	0	5.000
1	0	0	1	5.625



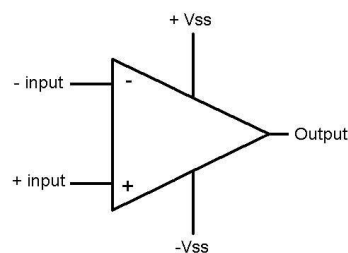
1	0	1	0	6.250
1	0	1	1	6.875
1	1	0	0	7.500
1	1	0	1	8.125
1	1	1	0	8.750
1	1	1	1	9.375

(Sumber : Roger L.Tokheim, 1990 : 335)

### 2.3 Penguat Operasional

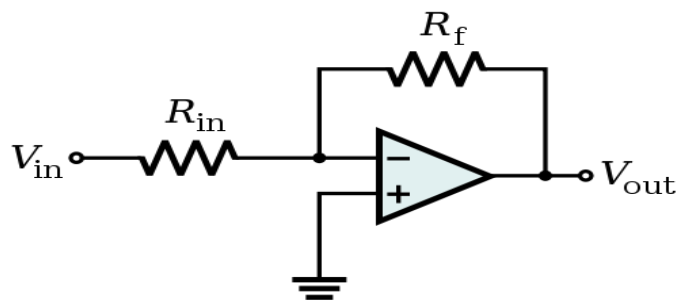
Penguat penjumlahan dalam pengubah D/A menggunakan op amp. Penguat operasional merupakan penguat yang serba guna dan mempunyai karakteristik – karakteristik yang penting sebagai berikut :

1. Impedansi masukan tinggi
2. Impedansi keluaran rendah
3. Penguatan tegangan berubah-ubah yang diset oleh harga resistor eksternal.



Gambar 2.10 Op-Amp Dasar

(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 7)



Gambar 2.11 Op-Amp Dengan Resistor Eksternal Untuk Pengesetan Penguatan Tegangan

(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 7)

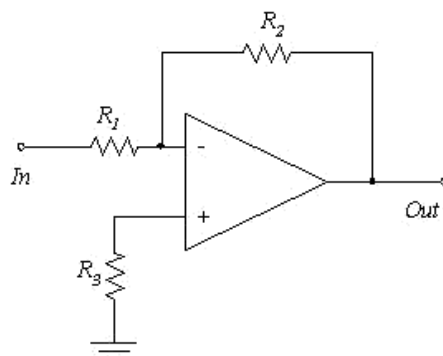
Simbol skematis yang berbentuk segitiga untuk suatu *op-amp* diilustrasikan pada gambar 2.7. Dua masukan dilabelkan dengan (-) dan (+). Masukan (-) disebut *masukkan yang terbalik (inverting input)*, sedangkan masukan (+) adalah *masukkan yang tak terbalik (non inverting input)*. Keluaran tunggal ditunjukkan di sebelah kanan dari simbol tersebut. *Op amp* membutuhkan dua catu daya arus searah.

Penguatan tegangan dari *op amp* ( $A_v$ ) dapat ditentukan atau diset dengan nilai resistor *eksternal*. Rangkaian penguat *op amp* khusus ditunjukkan pada gambar 2.8. perhatikan bahwa dalam aplikasi *op amp* ini, masukan yang tak terbalik (+) ditanahkan. Dua catu daya ditunjukkan diatas dan di bawah simbol hanya dengan + dan -. Pada *op amp* tersebut telah ditambahkan dua resistor ( $R_t$ ) dan ( $R_{in}$ ). Nilai dari resistor-resistor ini menentukan penguatan tegangan ( $A_v$ ) dari rangkaian penguat. Masukan *op amp* tersebut adalah masukan yang terbalik (-).

### 1. Penguat *Inverting*

Penguat ini memiliki ciri khusus yaitu sinyal keluaran memiliki beda fasa sebesar  $180^\circ$ . Penguatan rangkaian penguat *inverting* adalah berdasar pada persamaan berikut:

$$V_{out} = -V_{in}(R_2 / R_1)$$

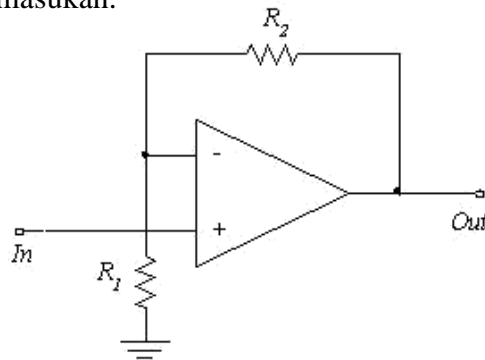


Gambar 2.12. Rangkaian Penguat *Inverting*

(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 6)

## 2. Penguat *Non Inverting*

Penguat *non inverting* memiliki ciri khusus yaitu sinyal output adalah sefasa dengan sinyal masukan.



Gambar 2.13 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

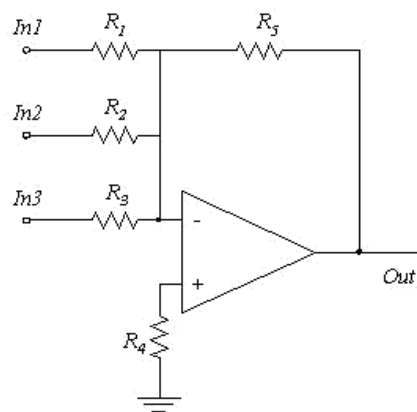
(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 6)

## 3. Penguat Penjumlah

Penguat penjumlah memiliki ciri khusus yaitu sinyal keluaran merupakan hasil penguatan dari penjumlahan sinyal masukannya. Pada bagian ini dicontohkan penguat penjumlah berdasarkan rangkaian penguat inverting. Sehingga sinyal keluaran adalah berbeda fasa sebesar  $180^\circ$ . Penguatan dari rangkaian ini dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_{out} = (-V_{in1}(R_5/R_1)) + (-V_{in2}(R_5/R_2)) + (-V_{in3}(R_5/R_3))$$

(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 6)



Gambar 2.14 Rangkaian Penguat Penjumlah

(Sumber : George Clayton Steve, 2005 : 7)

## 2.4 IC DAC 0800

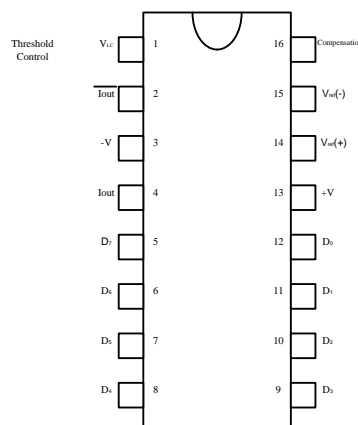
Konverter digital ke analog mengubah bilangan biner menjadi voltase ekuivalen analog atau arusnya. Beberapa teknik digunakan untuk konversi digital ke analog. DAC0800 adalah DAC 8-bit monolitik yang diproduksi oleh semikonduktor Nasional. Hal ini dapat beroperasi pada berbagai tegangan listrik yaitu dari 4.5V ke 18 V. Biasanya supply V + adalah 5V atau 12 V. V-pin dapat dijaga minimal -12V.

DAC 0800 berkisar dengan harga yang murah dan biasanya menggunakan 8-bit DAC, rangkaian internalnya terdiri atas tegangan sumber catu daya, R-2R resistor yang terhubung secara parallel dan transistor. Jangkauan tegangan sumber catu daya berada pada kisaran  $\pm 4.5$  V hingga  $\pm 18$  V, dibawah  $\pm 5$  V, rugi-rugi dayanya sekitar 33 Mw dan ketetapan waktunya sekitar 85ns. Gambar 2.14 adalah diagram sirkuit dari DAC 0800 tegangan output polaritas tunggal, dimana  $D_7 \sim D_0$  adalah 8 bit input digital. Tegangan referensi positif +5 V dan melewati  $R_1$  untuk menghubungkan ke  $V_{ref} (+)$  (pin 14). Tegangan referensi negatif GND dan melewati  $R_2$  untuk menghubungkan ke  $V_{ref} (-)$  (pin 15). Arus referensi  $I_{ref}$  yang melewati  $R_1$  dapat dinyatakan sebagai :

$$I_{ref} = V_{ref} / R_1$$

(Sumber :Susanti, Eka dkk. 2017 : 47)

Diagram Pin DAC 0800:



Gambar 2.15. Diagram pin IC DAC 0800

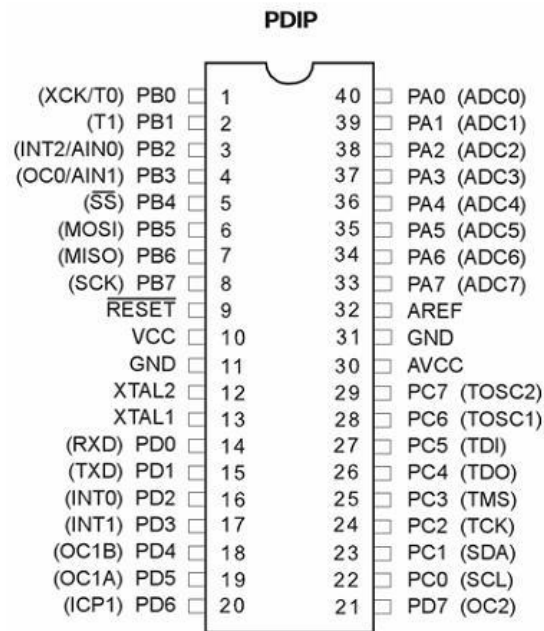
(Sumber :Susanti, Eka dkk. 2017 : 47)

## 2.5 IC AVR Atmega 16

Mikrokontroler adalah suatu alat yang dapat mengontrol sistem-sistem elektrik maupun elektronik yang menggunakan bahasa pemrograman untuk menjalankannya. Dewasa ini banyak sekali jenis mikrokontroler yang terdapat di pasaran, salah satu diantaranya adalah mikrokontroler keluarga AVR yang dapat diprogram menggunakan bahasa C. Penggunaan bahasa pemrograman yang relatif lebih mudah daripada bahasa *assembler* membuat mikrokontroler keluarga AVR lebih banyak digunakan untuk membuat sistem-sistem kendali yang kompleks.

Berdasarkan *datasheet*, ATmega16 mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Dilengkapi saluran *I/O* sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
2. Terpasang ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 channel.
3. Memiliki 3 buah *timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan dan *CPU* yang terdiri dari 32 buah *register*.
4. Tegangan operasi 2.7 V – 5.5 V pada ATmega 16L
5. *Internal SRAM* sebesar 1KB serta memori *flash* sebesar 16 KB dengan kemampuan *read while write*.
6. Dilengkapi *Port USART programmable* untuk komunikasi *serial*.



Gambar 2.16. Konfigurasi pin ATmega 16  
(Sumber : Atmel Corporation, 2010)

Keterangan masing-masing pin adalah sebagai berikut:

- a. Pin 10 merupakan input tegangan positif VCC pada mikrokontroler. Berdasarkan *datasheet*, tegangan pada mikrokontroler ATmega16 yang diperbolehkan adalah sebesar 5 Volt. Sehingga diperlukan *IC regulator 7805*.
- b. Pin 11 dan 31 sebagai *pin ground*.
- c. Pin 33 sampai 40 (*Port A*) merupakan *pin I/O* dua arah. Dapat digunakan sebagai *input* maupun *output*. Fungsi khusus dari *Port A* adalah sebagai *inputan ADC*.
- d. Pin 1 sampai 8 (*Port B*) merupakan *pin I/O* dua arah dan *pin* fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, komparator *analog*, dan SPI.
- e. Pin 22 sampai 29 (*Port C*) merupakan *pin I/O* dua arah dan *pin* khusus yaitu *TWI*, komparator *analog*, dan *Timer Osilator*.
- f. Pin 14 sampai 20 (*Port D*) merupakan *pin I/O* dua arah. Bisa dijadikan input maupun output dan mempunyai fungsi khusus yaitu untuk berkomunikasi

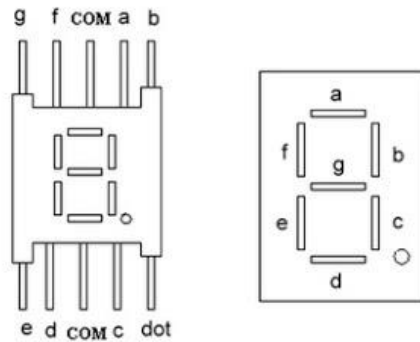
dengan mikrokontroler lain melalui *transmitter* dan *receiver*. *Port D* juga dapat digunakan untuk keluaran PWM yaitu pada *pin D.4* dan *pin D.5*

- g. *Pin 9* adalah *reset*. *Reset* merupakan *pin* yang digunakan untuk *reset* mikrokontroler ke kondisi semula.
- h. *Pin 12* dan *13* adalah XTAL 1 dan XTAL 2. *Pin* ini digunakan sebagai *pin* masukan *clock eksternal*. Suatu mikrokontroler membutuhkan sumber detak (*clock*) agar dapat mengeksekusi intruksi yang ada di memori. Semakin tinggi nilai kristalnya, maka semakin cepat pula mikrokontroler tersebut dalam mengeksekusi *program*.
- i. *Pin 30* adalah *pin AVCC* yang berfungsi sebagai *pin* masukan tegangan untuk ADC.
- j. AREF sebagai *pin* masukan tegangan referensi untuk ADC

(Sumber : <http://ilmukomputer.org/wp-content/uploads/2008/08/Sholihul-atmega16.pdf>, diunduh 2 Juli 2018)

## 2.6 *Seven segment*

*Seven segment* adalah suatu segmen-segmen yang digunakan untuk menampilkan angka / bilangan decimal. *Seven segment* ini terdiri dari 7 batang LED yang disusun membentuk angka 8 dengan menggunakan huruf a-f yang disebut DOT MATRIKS. Setiap segment ini terdiri dari 1 atau 2 LED (Light Emitting Dioda).

Gambar 2.17. *Seven segment*

(Sumber: <https://www.academia.edu/people/search?utf8=%E2%9C%93&q=seven+segment>, diunduh 12 Maret 2018)

*Seven segment* dapat menampilkan angka-angka desimal dan beberapa karakter tertentu melalui kombinasi aktif atau tidaknya LED penyusunan dalam *seven segment*. Untuk mempermudah pengguna *seven segment*, umumnya digunakan sebuah decoder atau sebuah *seven segment driver* yang akan mengatur aktif atau tidaknya led-led dalam *seven segment* sesuai dengan inputan biner yang diberikan.

*Seven segment* disusun sebagai pola 7 segmen atau dot matriks. Jenis 7 segmen sebagaimana namanya, menggunakan pola tujuh batang led yang disusun membentuk angka 8 seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas. Huruf-huruf yang diperlihatkan dalam gambar tersebut ditetapkan untuk menandai segmen-segmen tersebut. Dengan menyalakan beberapa *segment* yang sesuai, akan dapat diperagakan digit-digit dari 0 sampai 9, dan juga bentuk huruf A sampai F (dimodifikasi).

#### 1. Prinsip Kerja *Seven segment*

Prinsip kerja dari *seven segment* ini adalah *inputan* bilang biner pada switch dikonversi masukan ke dalam *decoder*, baru kemudian *decoder* mengkonversikan bilang biner tersebut ke dalam bilangan desimal, yang mana bilangan desimal ini akan ditampilkan pada layar *seven segment*. Fungsi dari *decoder* sendiri adalah sebagai *converter* dari bilangan biner menjadi bilangan decimal.



Tabel 2.6 Tabel Output *Seven segment*

Digit	ABCD	a	b	c	d	e	f	g
0	0000	1	1	1	1	1	1	0
1	0001	0	1	1	0	0	0	0
2	0010	1	1	0	1	1	0	1
3	0011	1	1	1	1	0	0	1
4	0100	0	1	1	0	0	1	1
5	0101	1	0	1	1	0	1	1
6	0110	1	0	1	1	1	1	1
7	0111	1	1	1	0	0	0	0
8	1000	1	1	1	1	1	1	1
9	1001	1	1	1	1	0	1	1
10 (A)	1010	1	1	1	1	1	0	1
11 (B)	1011	0	0	1	1	1	1	1
12 (C)	1100	1	0	0	1	1	1	0
13 (D)	1101	0	1	1	1	1	0	1
14 (E)	1110	1	0	0	1	1	1	1
15 (F)	1111	1	0	0	0	1	1	1

(Sumber:<https://www.academia.edu/people/search?utf8=%E2%9C%93&q=seven+segment>, diunduh 12 Maret 2018)

## 2. Jenis-jenis *Seven segment*.

*Seven segment* ada 2 jenis, yaitu *common anoda* dan *common katoda*:

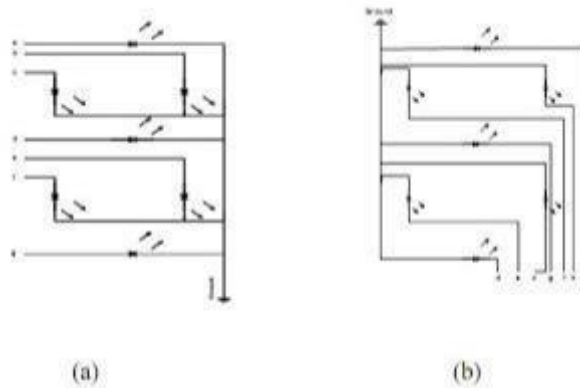
### a. *Common Anoda*

*Common anoda* merupakan pin yang terhubung dalam semua kaki anoda LED dalam *seven segmen*. *Common anoda* diberi tegangan VCC dan *seven segment*. *Common anoda* diberi tegangan VCC dan *seven segment* dengan *common anoda* akan aktif pada saat diberi logiksa rendah (0) atau sering disebut aktif *low*. Kaki katoda dengan label a sampai h sebagai pin aktifasi yang menentukan nyala LED.

### b. *Common Katoda*

*Common Katoda* merupakan pin yang terhubung dengan semua kaki katoda LED dalam *seven segment* dengan *common katoda* akan aktif apabila diberi logika tinggi (1) atau disebut dengan aktif *high*. Kaki anoda dengan label a sampai h sebagai pin aktifasi yang menentukan nyala LED.

(Sumber:<https://www.academia.edu/people/search?utf8=%E2%9C%93&q=seven+segment>, diunduh 12 Maret 2018)



Gambar 2.18. *Skematik Internal Segmen Display (a) Common Katoda, (b) Common anoda*

(Sumber:<https://www.academia.edu/people/search?utf8=%E2%9C%93&q=seven+segment>, diunduh 12 Maret 2018)