BAB II

DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar Modulasi

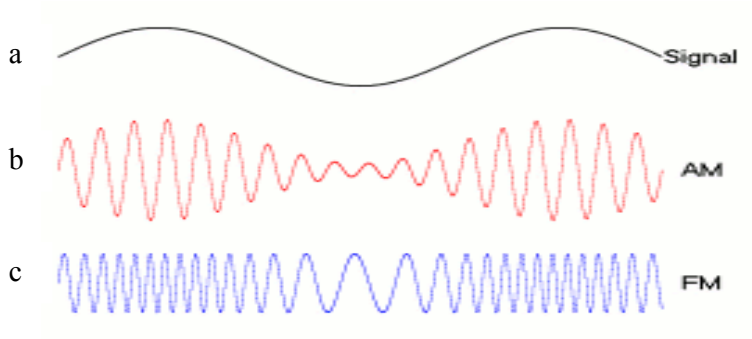
Modulasi adalah proses yang dilakukan pada sisi pemancar untuk memperoleh transmisi yang efisien dan handal. Modulasi melibatkan dua buah sinyal, yaitu sinyal pemodulasi, yang merepresentasikan pesan yang akan dikirim, dan *carrier* (gelombang pembawa) yang sesuai dengan aplikasi yang diterapkan.

Pada dasarnya modulasi secara garis besar terbagi atas modulasi analog dan modulasi digital. Perbedaaan mendasar antara modulasi analog dan digital terletak pada bentuk sinyal informasinya. Pada modulasi analog, sinyal informasinya berbentuk analog (sinyal pesan adalah gelombang kontinyu) dan sinyal cariernya analog. Sedangkan pada modulasi digital, sinyal informasinya berbentuk digital mewakili seperangkat simbol-simbol abstrak (Misalnya 0 dan l untuk sistem transmisi biner) dan sinyal *carrier* nya analog.

- Modulasi analog umumnya memakai teknik :
  a) *Amplitude Modulation* (AM)
  b) *Frequency Modulation* (FM)

Pada teknik modulasi AM, data analog yang ditumpangkan dengan gelombang sinyal pembawa *carrier* yang frekuensinya lebih besar dari frekuensi data, bentuk dari frekuensi yang termudulasi ini akan mengikuti bentuk amplitudo gelombang sinyal data. Pada modulasi FM merupakan salah satu bentuk modulasi digital yang sederhana yaitu data analog yang ditumpangkan dengan

gelombang sinyal pembawa *carrier* yang frekuensinya lebih besar dari frekuensi data, bentuk dari frekuensi yang termudulasi ini akan mengikuti bentuk frekuensi gelombang sinyal data.

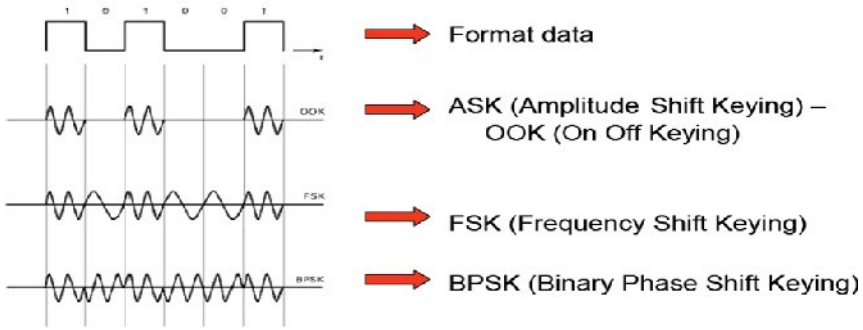


Gambar 2.1 Gelombang Modulasi Kontinyu
(a) sinyal informasi ; (b) modulasi AM ; (c) modulasi FM

- Modulasi digital umumnya memakai teknik :
  a) *Amplitudo Shift Keying* (ASK)
  b) *Frekuensi Shift Keying* (FSK)
  c) *Phase Shift Keying* (PSK)

Pada teknik modulasi ASK, data digital yang ditumpangkan dengan cara mengubah-ubah amplitudo gelombang sinyal pembawa. Pada modulasi FSK merupakan salah satu bentuk modulasi digital yang sederhana yaitu Dalam FSK dua gelombang pembawa sinusoidal dengan amplitudo yang sama tetapi frekuensinya yang berbeda. Sedangkan dalam modulasi PSK berbentuk digital dan perbedaanya adalah phasa keluaran PSK jumlahnya terbatas. Dalam perkembangannya, PSK mengalami perkembangan yaitu seperti *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dan *Quadrature Phase Shift Keying*

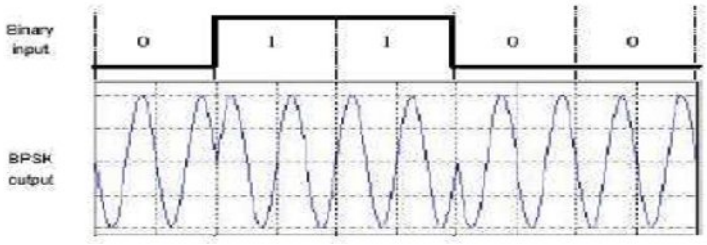
(QPSK) dan lain-lain. Dalam perancangan tugas akhir ini menggunakan proses modulasi BPSK.



Gambar 2.2 Gelombang Modulasi Digital

2.2 Sistem Modulasi BPSK

Proses modulasi BPSK dapat dilihat sebagai kasus khusus dari *Phase modulation*. Pada gambar 2.3 sinyal pembawa merupakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan amplitudo tetap, sinyal modulasi adalah informasi biner.



Gambar 2.3 Proses Pembentukan Sinyal BPSK

Jika informasi adalah rendah (1), sinyal pembawa tetap dalam fasanya. Jika informasi input adalah high (0), sinyal pembawa membalik fasa sebesar 180^0. Pasangan gelombang sin yang hanya berbeda fasanya pada pergeseran 180 di sebut sinyal antipodal, tipe *Phase Shift Keying* ini disebut *binary* PSK (BPSK).

Tansmisi digital dengan menggunakan teknik modulasi BPSK, akan mengirimkan 1 dari 2 sinyal yang mungkin selama interval waktu tertentu dimana setiap sinyal terkirim antara ‘0’ dan ‘1’. Sinyal termodulasi BPSK dapat didefinisikan dalam bentuk persamaan :

$$( ) = \sin[2 + \Delta]( ) \quad \ldots\ldots\ldots\

Dengan Δ deviasi fasa atau biasa disebut juga indeks modulasi dan di(t) data yang dinyatakan dengan +1 dan -1.

Untuk Δ =–, ……(2.2)

karena kedua sinyal *suppressed carrier* yang saling berlawanan (( ) = − ( )) Secara sederhana sinyal BPSK dapat dinyatakan sebagai berikut :

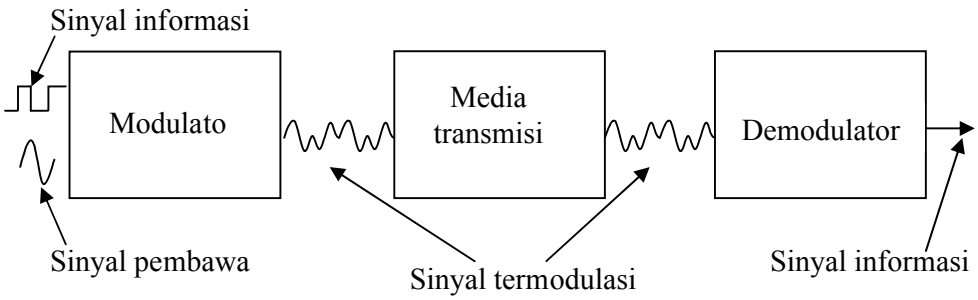
$$( ) = \begin{cases} \sin ( ) & \rightarrow \text{untuk biner } '1' \\ \sin(+) = - \sin ( ) & \rightarrow \text{untuk biner } '0' \end{cases} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.3)$$

Table 2.1 Tabel Kebenaran Modulasi BPSK 1

Input biner	Output fasa
logika 0	180^0
logika 1	0^0

Berdasarkan tabel kebenaran BPSK, modulasi BPSK mempunyai dua masukan data biner, yaitu logika ‘1’ dan ‘0’. Sehingga keluaran dari modulasi BPSK itu sendiri menghasilkan dua fasa yang berbeda, yaitu 180^0 dan 0^0. Penggunaan dari fungsi nilai kebenaran ini ditunjukkan pada ujung bagian yang berikutnya di dalam suatu pemilihan waktu diagram yang di tunjukkan pada Gambar 2.4 Diagram Konstelasi BPSK.

Pada Gambar 2.5 menunjukkan sistem komunikasi BPSK/QPSK. Modulator memodulasi sinyal pembawa dengan informasi input dan memproduksi sinyal termodulasi BPSK atau QPSK. Sinyal termodulasi ditransmisikan melewati medium seperti udara, kabel, fiber optik, ke input demodulator. Demodulator menerima sinyal transmisi kemudian merekonstruksi data informasi originalnya.

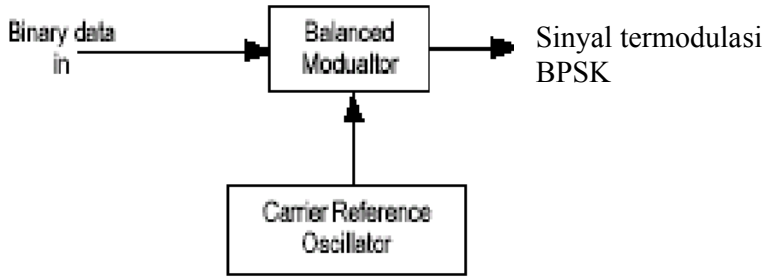


Gambar 2.5 Blok Diagram Sistem

Keterangan gambar :

Pada modulator terjadi proses pencampuran antara sinyal informasi dan sinyal pembawanya sehingga menjadi sinyal termodulasi. Dan sinyal inilah yang ditransmisikan sebagai input pada demodulator. Proses yang terjadi pada demodulator adalah proses pengembalian kembali menjadi sinyal awal atau sinyal informasi.

Hal ini dilakukan oleh demodulator dengan memisahkan sinyal informasi dengan sinyal pembawanya.

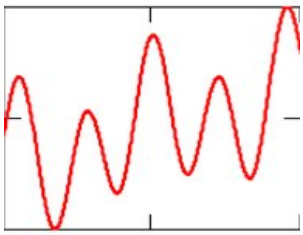


Gambar 2.6 Blok Diagram Modulator BPSK

2.3 Teori Sound (Suara)

Suara atau *sound* diproduksi oleh sebuah obyek yang bergetar, contohnya *loudspeaker*, *musical instrument*, ataupun pita suara manusia. Getaran pita suara dari seorang manusia membuat pergerakan udara terdorong dan tertarik dari kondisi stabil, adanya gerakan mendorong dan menarik yang terus menerus dari sebuah pita suara membuat tekanan udara berubah yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya sebuah gelombang suara.

Sebuah gelombang suara dapat dideskripsikan oleh frekuensi dan amplitudo (*amplitude*). Frekuensi 1 Hz berarti 1 *cycle* gelombang lengkap setiap satu detik. Satuan sebuah frekuensi adalah Hertz (Hz). Frekuensi *audible* (*human hearing range*) adalah 20 Hz sampai 20000 Hz. Dalam kenyataan praktis sebuah sumber suara selalu diproduksi pada banyak frekuensi secara simultan. Berikut ini adalah contoh gambar dari frekuensi gelombang suara :



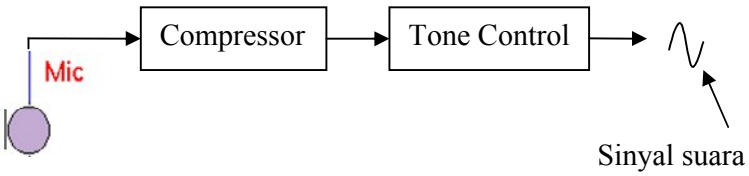
Gambar 2.7 Contoh Frekuensi Gelombang Suara Random

Amplitudo sebuah gelombang mengacu pada besarnya perubahan tekanan dan tingkat kerasnya (*loudness*) gelombang suara. Amplitudo (*amplitude*) atau *sound pressure level* (SPL) diukur dalam satuan *decibels* (dB).

2.4 Pre-amp Mic

Pre-amp mic merupakan piranti elektronik yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan analog. Dimana fungsi dari mikrofon ialah untuk merubah getaran suara menjadi getaran listrik suara yang masuk pada pesawat penguat (penguat depan amplifier), pada penguatan awal ini sinyal yang diterima dari mickropon.

Penguat depan mickropon disini dapat dimodifikasi sesuai dengan selera, misalkan menggunakan IC Opamp, diberi *tone control* dan *gain control*. Rangkaian penguat mic ini nantinya sangat mempengaruhi kualitas modulasi yang dihasilkan oleh sistem yang akan dirancang "baik" atau "buruk" dari kerja pemancar.



Gambar 2.8 Blok Diagram Sistem Pre-amp mic

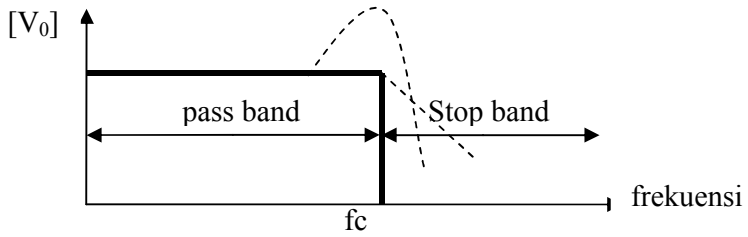
2.5 Filter Butterworth

Filter banyak digunakan dalam sistem komunikasi, di desain untuk melewatkan pita frekuensi tertentu yang meredam semua sinyal di luar pita frekuensi tersebut. Filter biasanya diklasifikasikan berdasarkan pada range pemfilteran. Berdasarkan range pemfilteran terdapat empat tipe filter yaitu :

1. *Low Pass Filter*
2. *High pass Filter*
3. *Band Pass Filter*

4. Band Reject Filter

Sedangkan berdasarkan respon frekuensi, terdapat dua tipe filter yaitu *Butterworth* dan *Chebyshev*. Berdasarkan komponen rangkaiannya terdapat filter aktif dan filter pasif. Filter pasif adalah filter yang rangkaiannya hanya terdiri atas komponen-komponen pasif seperti, induktor, resistor dan kapasitor yang terangkai sedemikian rupa sehingga melewatkan frekuensi tertentu dan menahan frekuensi yang lain. Filter aktif merupakan rangkaian yang terdiri atas komponen-komponen aktif seperti transistor atau op-Amp, resistor, induktor serta kapasitor. Dimana dalam perancangan modulator ini filter yang digunakan adalah low pass filter *Butterworth*.

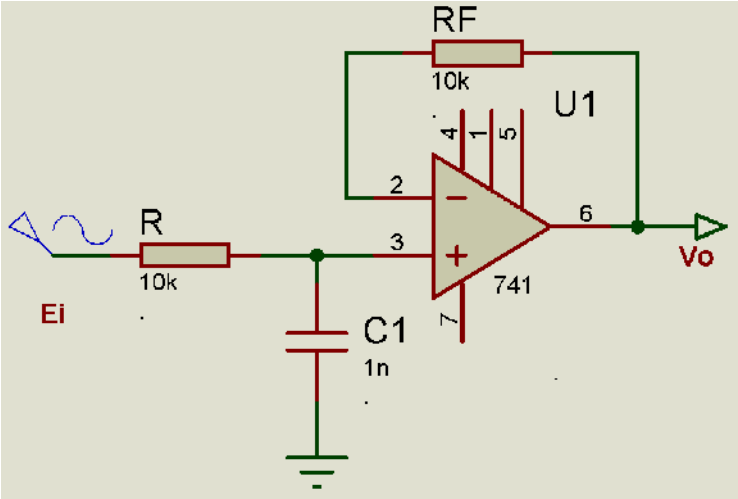


Gambar 2.9 Respon Frekuensi Low Pass

Low pass filter merupakan sirkuit yang memiliki tegangan output yang konstan dari DC ke frekuensi *cut off* (fc). Selama frekuensi meningkat di fc, tegangan output akan menurun (melemah). Gambar 2.9 *Low* Pass Filter merupakan plot dari magnitudo tegangan output dari *low pass filter* versus frekuensi. Garis solid adalah plot untuk filter ideal *low pass*, sementara garis putus-putus mengindikasikan kurva untuk praktikal filter *low pass*.

Sirkuit pada Gambar 2.10 *Low* Pass Filter biasa digunakan filter *low* pass aktif. Pemfilteran ini dibuat dengan jaringan RC, dan op-amp digunakan untuk

penguatan amplifier. Resistor Rf sama dengan R dan termasuk offset DC. Kapasitor di DC, kapasitif reaktansi tak terhingga dan path resistansi DC ke *ground* untuk kedua terminal input mungkin sama.



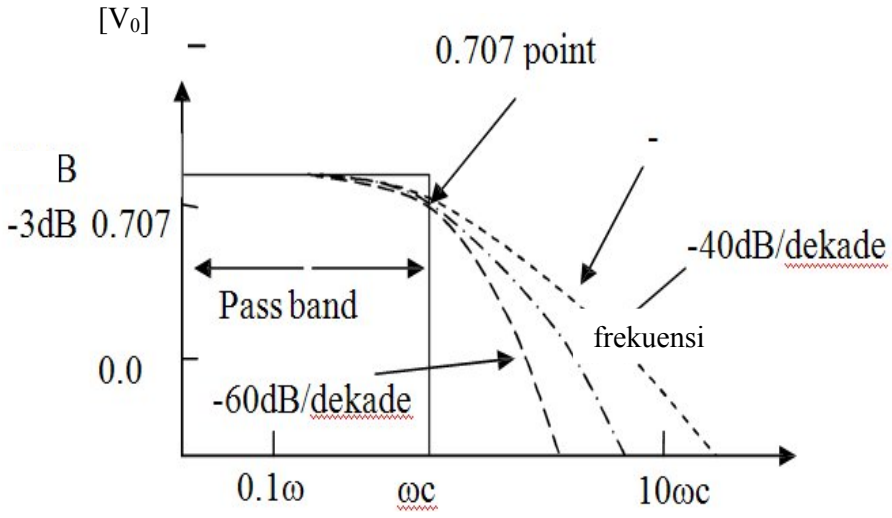
Gambar 2.10 Rangkaian LPF

Differensial antara pin 2 (inverting) dan pin 3 (non inverting) pada dasarnya 0 Volt. Oleh karena itu, tegangan melewati persamaan kapasitor C tegangan output Vo. karena sirkuit ini merupakan tegangan pengikut *(folrendaher)* Ei dibagi atas R dan C. persamaan tegangan kapasitor Vo adalah :

$$= \frac{/}{/} \qquad \ldots\ldots\ldots\

tertutup agar mendekati 1 seperti *band pass*. Filter butterworth merupakan perancangan yang sangat bagus untuk tipe aplikasi ini. Filter butterworth sering disebut *maximally filter* atau filter flat-flat (kombinasi dua buah filter lpf). Gambar 2.11 Respon Frekuensi LPF Butterworth *Filter* menunjukan ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) respon-respon frekuensi dari filter butterworth. Seperti roll-off menjadi *stepper*, mendekati filter ideal lebih dekat.

Dua filter aktif akan berpasangan untuk memberikan *roll off* pada -40 dB/decade. Kedua filter ini mungkin desain yang bukan ekonomikal, karena ini mungkin membutuhkan dua buah op-amp. Dimana suatu op-amp bisa digunakan untuk membangun filter butterworth dengan satu loop op-amp untuk memberikan -40 dB/decade rol-off. Kemudian filer -40 dB/decade turun dengan - 20dB/decade filter untuk memproduksi filter -60 dB/decade.



Gambar 2.11 Respon Frekuensi Filter LPF Butterworth

Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut phasa konstan pada frekuensi *cut off*. Basic filter *low pass* filter dari -20 dB/decade

mempunyai sudut phasa -45^{0}pada ωc, -40 db/decade filter butterworth mempunyai sudut phasa -90^{0}ωc, dan -60dB/decade filter mempunyai sudut phasa -135^{0}ωc. Sekarang filter butterworth mempunyai *roll off stepper* yang menunjukan -20 dB/ decade.

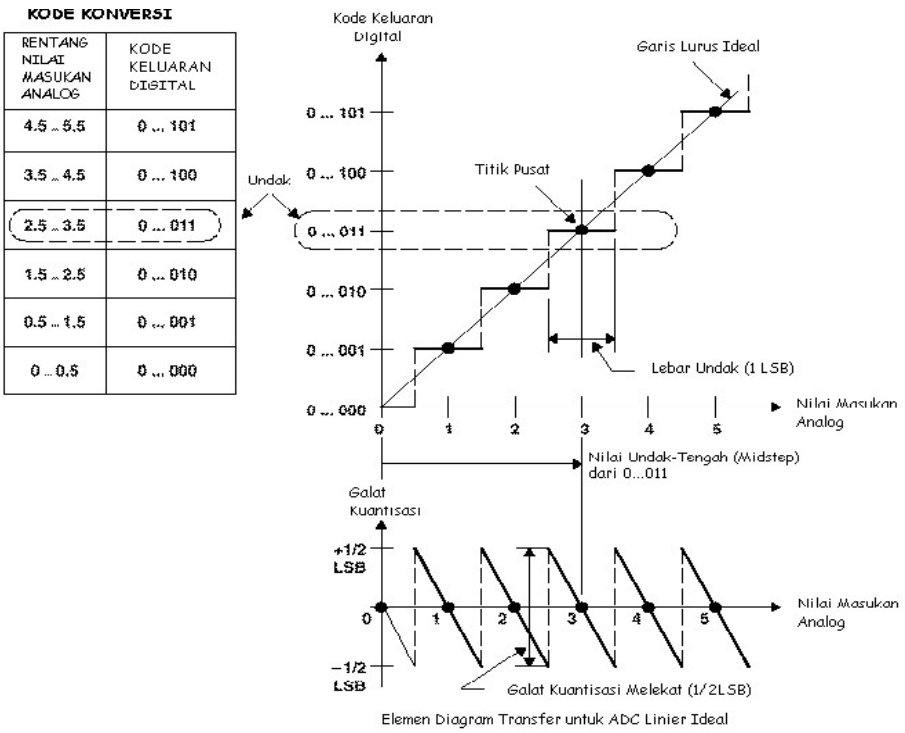
2.6 Analog to Digital Conversion (ADC)

Perangkat elektronika modern kebanyakan melakukan pengolahan data secara digital. Sehingga saat ini berbagai peralatan elektronika telah banyak yang menyimpan, mengolah dan mengirimkan data dalam bentuk digital. Hal ini disebabkan karena penggunaan sinyal-sinyal digital lebih banyak memberikan keuntungan dari pada penggunaan sinyal-sinyal analog.

Karena sinyal pada umumnya secara alamiah merupakan sinyal analog, maka keberadaan peranti pengubah (konversi) data dari analog ke digital, dan sebaliknya menjadi sangat vital.

2.6.1 Fungsi Transfer Ideal Konverter Analog-ke-Digital

Secara teoritis, fungsi transfer ideal untuk konverter analog-ke-digital (ADC, *analog-to-digital converter*) berbentuk garis lurus. Bentuk ideal garis lurus hanya dapat dicapai dengan konverter data beresolusi tak-hingga. Karena tidak mungkin mendapatkan resolusi tak hingga, maka secara praktis fungsi transfer ideal tersebut berbentuk gelombang tangga seragam seperti terlihat pada gambar 2.12 Semakin tinggi resolusi ADC, semakin halus gelombang tingkatan tersebut.



Gambar 2.12 Fungsi Transfer Ideal ADC

ADC ideal secara unik dapat merepresentasikan seluruh rentang masukan analog tertentu dengan sejumlah kode keluaran digital. Pada Gambar 2.12 ditunjukkan bahwa setiap kode digital merepresentasikan sebagian dari rentang masukan analog total. Oleh karena skala analog bersifat kontinyu sedangkan kode digital bersifat diskrit, maka ada proses kuantisasi yang menimbulkan kekeliruan (kesalahan). Apabila jumlah kode diskritnya (yang mewakili rentang masukan analog) ditambah, maka lebar tingkatan (*step width*) akan semakin kecil dan fungsi transfer akan mendekati garis lurus ideal.

Lebar satu tingkatan (*step*) didefinisikan sebagai 1 LSB (*least significant bit*) dan unit ini digunakan sebagai unit rujukan untuk besaran-besaran lain dalam spesifikasi peranti konversi data. Unit 1 LSB itu juga digunakan untuk mengukur

resolusi konverter karena ia juga menggambarkan jumlah bagian atau unit dalam rentang analog penuh.

Resolusi ADC selalu dinyatakan sebagai jumlah bit-bit dalam kode keluaran digitalnya. Misalnya, ADC dengan resolusi n-bit memiliki 2^n kode digital yang mungkin dan berarti juga memiliki 2^n tingkat *step* (*step level*). Meskipun demikian, karena tingkatan pertama dan tingkatan terakhir hanya setengah dari lebar penuh, maka rentang skala-penuh (FSR, *full-scale range)* dibagi dalam (2^n-1) lebar tingkatan. Karenanya, **1 LSB = FSR/(2^n-1)** untuk konverter n-bit.

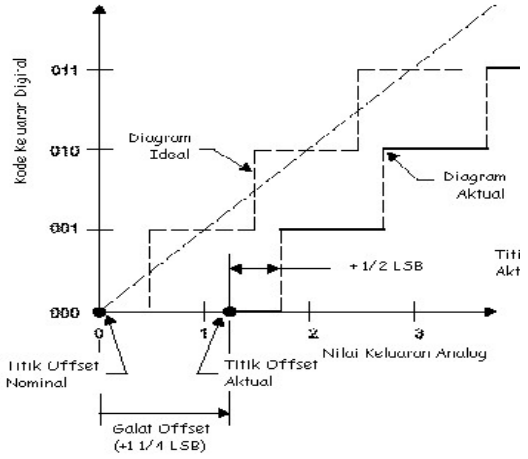
2.6.2 Kesalahan Statik

Kesalahan statik adalah kesalahan yang mempengaruhi akurasi konverter bila konverter tersebut mengkonversi sinyal statik (DC, *direct current*). Yang termasuk dalam jenis kesalahan statik adalah kesalahan *offset*, kesalahan bati (*gain error*), non-linieritas integral, dan non-linieritas diferensial. Masing-masing galat dapat diekspresikan dalam unit LSB atau kadang-kadang sebagai prosentase dari FSR. Misalnya, tingkatan ½ LSB untuk konverter 8-bit adalah sama dengan 0,2% FSR.

2.6.2.1 Kesalahan *Offset*

Secara grafis, seperti tampak pada Gambar 2.13 galat *offset* didefinisikan sebagai selisih antara titik *offset* nominal dan titik *offset* aktual. Pada ADC, titik *offset* adalah nilai undak-tengah (*midstep*) jika keluaran digitalnya nol, sedangkan untuk DAC titik *offset* adalah nilai undak saat masukan digitalnya nol. Dengan kata lain, kesalahan *offset* atau disebut juga kesalahan nol (*zero error*) pada DAC

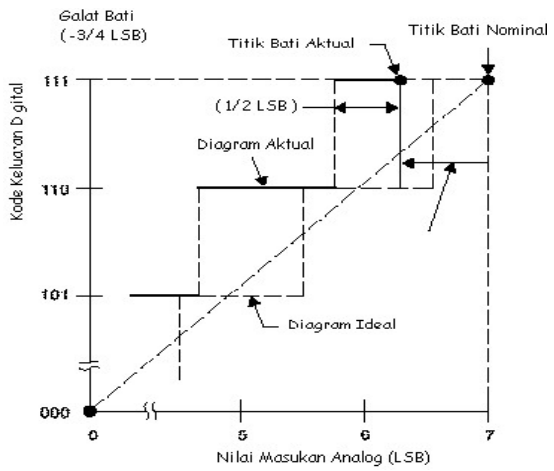
adalah tegangan keluaran saat masukan digitalnya nol. Pada ADC, kesalahan nol adalah nilai tegangan masukan yang diperlukan untuk menghasilkan keluaran digital nol. Galat *offset* ini diakibatkan oleh masukan tegangan atau arus *offset* pada penguat atau komparator. Umumnya kesalahan ini dapat dikoreksi dengan pemasangan potensiometer penepat (*trimming potentiometer*) eksternal sebagai pengatur *offset* nol.



Gambar 2.13 Kesalahan *Offset*

2.6.2.2 Kesalahan Bati *(Gain Error)*

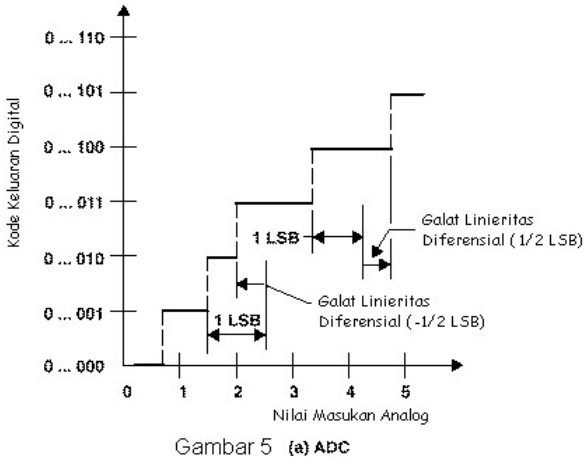
Kesalahan bati, ditunjukkan pada Gambar 2.14 didefinisikan sebagai selisih antara titik bati (*gain point*) nominal dan aktual pada fungsi transfer setelah galat *offset* dikoreksi ke nol. Untuk ADC, titik bati adalah nilai undak-tengah bila keluaran digital merupakan skala penuh. Pada DAC, titik bati adalah nilai tingkatan bila masukan digitalnya adalah skala penuh. Kesalahan ini merepresentasikan perbedaan kemiringan fungsi transfer ideal dengan fungsi transfer aktual. Koreksi atas kesalahan ini dapat dilakukan dengan menepatkan (*trimming*) resistor umpan balik pada penguat.



Gambar 2.14 Kesalahan Bati

2.6.2.3 Kesalahan *Nonlinieritas Diferensial*

Kesalahan nonlinieritas diferensial, yang secara grafis ditunjukkan pada Gambar 2.15 adalah selisih antara lebar tangga (pada ADC) aktual dengan nilai ideal 1 LSB. Sebagai contoh, ADC dengan tinggi 1,25 LSB pada perubahan satu kode digital dikatakan memiliki kesalahan nonlinieritas diferensial ¼ LSB.

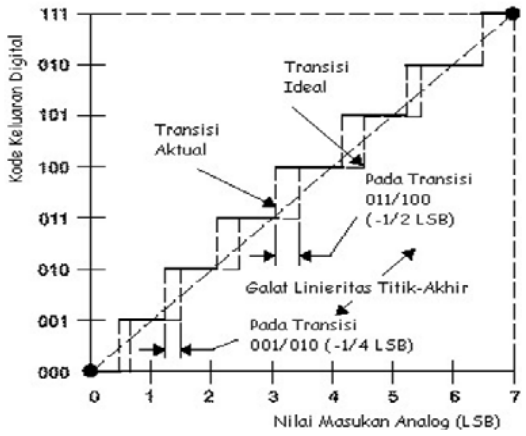


Gambar 2.15 Kesalahan Nonlinieritas Differensial

Dengan demikian, bila lebar tingkatan atau tinggi tangga bernilai tepat 1 LSB maka berarti kesalahan nonlinieritas diferensialnya nol. Jika nilai nonlinieritas diferensial melampaui 1 LSB, ada kemungkinan konverter menjadi tidak monotonik. Ini berarti besaran keluaran menjadi semakin mengecil bila besaran masukannya bertambah. Pada ADC, mungkin saja ada kode yang hilang, yakni satu atau lebih dari 2^n kemungkinan kode biner tidak pernah muncul.

2.6.2.4 Kesalahan *Nonlinieritas Integral*

Kesalahan nonlinieritas integral, ditunjukkan pada Gambar 2.16, atau sering disebut kesalahan linieritas, adalah penyimpangan nilai pada fungsi transfer aktual dari garis lurusnya. Definisi ini berlaku bagi ADC maupun DAC. Pada ADC penyimpangan ini diukur pada transisi dari satu tingkatan ke tingkatan berikutnya, sedangkan pada DAC penyimpangan diukur pada setiap tingkatannya.

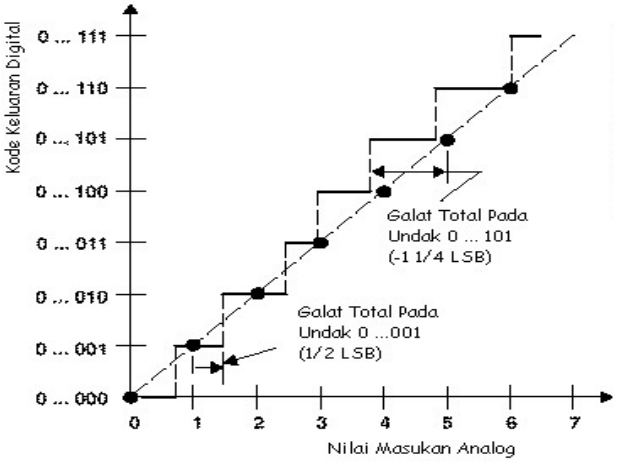


Gambar 2.16 Kesalahan Nonlinieritas Integral

2.6.2.5 Kesalahan Akurasi Mutlak (Absolute Accuracy Error)

Kesalahan akurasi mutlak atau kadang-kadang disebut kesalahan total (*total error*) ADC, yang secara grafis ditunjukkan oleh Gambar 2.17 adalah nilai

maksimum selisih antara nilai analog dengan nilai level-tengah (*midstep*) ideal, yang diakibatkan oleh kesalahan kuantisasi dan kesalahan - kesalahan lainnya. Bila suatu ADC 12-bit dinyatakan akurat ± 1 LSB, maka hal itu sama artinya dengan ± 0,0265% atau dua kali lipat dari galat kuantisasi minimum yang dimungkinkan, yakni 0,0122%. Akurasi konverter meliputi jumlah seluruh kesalahan yang terjadi, termasuk kesalahan kuantisasi, tetapi pada umumnya jarang dinyatakan dalam lembar data karena berbagai kesalahan atau galat yang terjadi tersebut dicantumkan terpisah-pisah.



Gambar 2.17 Kesalahan Akurasi Mutlak (total)

2.6.3 Laju Konversi Data

Laju konversi data adalah kecepatan ADC atau DAC melakukan konversi data berulang. Hal ini dipengaruhi oleh waktu tunda perambatan pada rangkaian pencacah, tangga saklar dan komparator, tangga RC dan waktu penetapan penguat. Laju konversi didefinisikan sebagai jumlah konversi per detik atau dapat

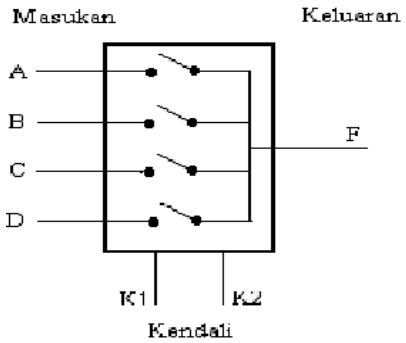
juga dinyatakan sebagai waktu konversi, yakni lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu proses konversi (termasuk efek waktu penetapan).

Maka dalam perancangan ADC 0804 yang menentukan kecepatan laju konversi data dari analog ke digital adalah pulsa clock yang frekuensinya antara 100 Hz sampai 800 KHz pada pin 4 yang dibangkitkan dari rangkaian RC. Untuk menghitung clock frekuensi dapat di tentukan sebagai berikut:

$$f_{CLK} = \frac{\quad}{,\ *\ *}(\text{Hz}) \qquad \text{.....(2.6)}$$

2.7 Paralel to Serial (Multiplesker)

Multiplekser adalah suatu piranti elektronik yang mampu menyalurkan sinyal salah satu dari banyak masukan ke sebuah keluaran. Pemilihan masukan ini dilakukan melalui masukan penyeleksi. Secara bagan kerja Multiplekser ditunjukkan pada Gambar 2.18 dibawah ini;



Gambar 2.18 Rangkaian Dasar Multiplekser

Kendali pada Multiplekser akan memilih saklar mana yang akan dihubungkan. Saluran kendali sebanyak "n" saluran dapat menyeleksi 2 n saluran masukan.

Sebagai contoh: sebuah Multiplekser 4 ke 1 dengan Kendali K1 dan K2. Ketika saluran Enable = 1, keluaran selalu bernilai nol. Tetapi ketika saluran Enable = 0, keluaran F diatur melalui K1 dan K2. Tabel kebenaran Multiplekser ini dinyatakan sebagai berikut:

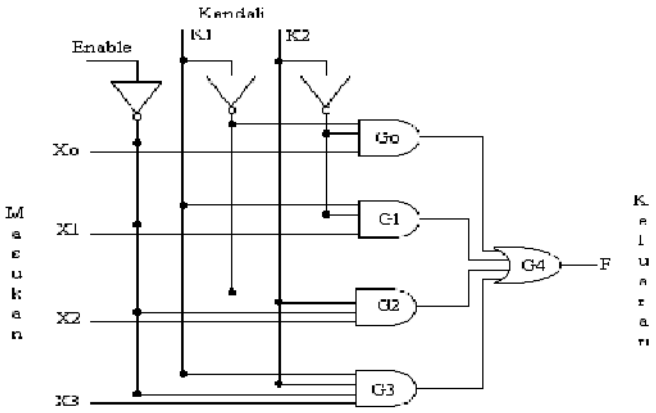
Tabel 2.2 Tabel Kebenaran Multiplekser

$\overline{\text{Enable}}$	K2	K1	F
1	x	X	0
0	0	0	Xo
0	0	1	X1
0	1	0	X2
0	1	1	X3

Jika E mewakili saluran Enable , maka berdasarkan tabel kebenaran tersebut keluaran F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \overline{E}.Xo.\overline{K1}.\overline{K2} + \overline{E}.X1.K1.\overline{K2} + \overline{E}.X2.\overline{K1}.K2 + \overline{E}.X3.K1.K2 \quad \text{.....(2.7)}$$

Berdasarkan persamaan logika ini disusunlah rangkaian logika Multiplekser 4 ke 1 seperti ditunjukkan oleh gambar 2.19 di bawah ini ;



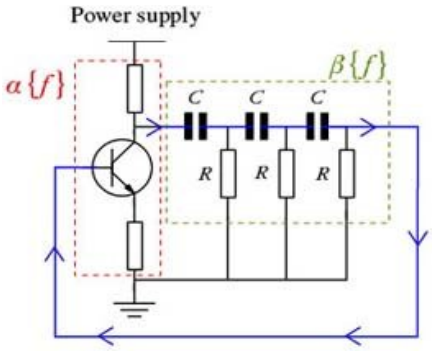
Gambar 2.19 Rangkaian Logika Multipekser 4 ke 1

2.8 Osilator

Osilator merupakan piranti elektronik yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Bentuk isyarat tegangan terhadap waktu ada bermacam-macam, yaitu bentuk sinusoidal, persegi, segitiga, gigi gergaji atau denyut. osilator berbeda dengan penguat, oleh karena penguat memerlukan isyarat masukan untuk menghasilkan isyarat keluaran. Pada osilator tidak ada isyarat masukan, hanya ada isyarat keluaran saja, yang frekuensi dan amplitudo dapat dikendalikan.

Pada dasarnya ada tiga macam osilator, yaitu osilator RC, osilator LC, dan osilator relaksasi. Osilator RC dan LC menghasilkan isyarat berbentuk sinusoidal sedangkan osilator relaksasi menghasilkan isyarat persegi, segitiga, gigi gergaji atau pulsa.Untuk "free running oscillator" terdapat empat kebutuhan agar osilator umpan balik bekerja:

1. Amplification (penguatan)
2. Umpan balik positif
3. Pembentuk frekuensi
4. Power supply



Gambar 2.20 Diagram Osilator Umpan Balik Secara umum

Seluruh osilator umpan balik memerlukan beberapa devais atau mekanisme yang menyediakan penguatan (gain) yang dikombinasikan dengan sebuah susunan umpan balik. Gambar 2.21 menunjukkan diagram rangkaian osilator secara umum.

2.9 *Balance Modulator (Mixer)*

Output balance modulator adalah perkaliaan dari dua gelombang frekuensi *carrier* dengan data input *biner*.

Jika osilator *carrier* = sin dan sinyal input = sin

Dimana; = — atau ……..(2.8)

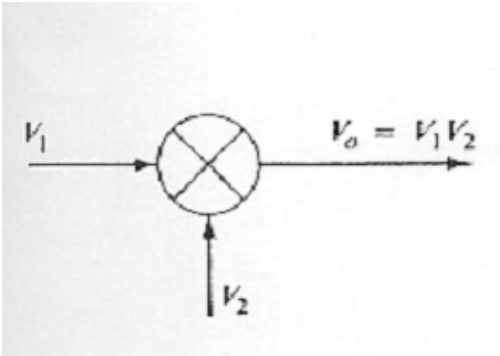
= — ……..(2.9)

= — ……..(2.10)

= input bit rate

Maka, *output balance modulator* :

= sin ( ) sin ( )……...(2.11)



Gambar 2.21 Blok Balanced Modulator

Dimana salah satu pemodifikasi frekuensi yang sering digunakan adalah *balanced* modulator (mixer) dalam sistem. *Balanced* modulator banyak digunakan dalam modulasi amplitudo dalam sistem komunikasi. Suatu *balanced* modulator ideal ditunjukkan pada Gambar 2.22 menunjukkan penjumlahan antara dua sinyal, yaitu sinyal data (informasi) dan sinyal pembawa (*carrier*).