

## BAB II

### QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION (QAM)

#### 2.1 Modulasi

Modulasi adalah proses pencampuran dua sinyal menjadi satu sinyal. Biasanya sinyal yang dicampur adalah sinyal berfrekuensi tinggi dan sinyal berfrekuensi rendah. Dengan memanfaatkan karakteristik masing-masing sinyal, maka modulasi dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi pada daerah yang luas atau jauh. Sebagai contoh Sinyal informasi (suara, gambar, data), agar dapat dikirim ke tempat lain, sinyal tersebut harus ditumpangkan pada sinyal lain. Dalam konteks radio siaran, sinyal yang menumpang adalah sinyal suara, sedangkan yang ditumpang adalah sinyal radio yang disebut sinyal pembawa (carrier). Jenis dan cara penumpangan sangat beragam. Untuk jenis penumpangan sinyal analog akan berbeda dengan sinyal digital. Penumpangan sinyal suara juga akan berbeda dengan penumpangan sinyal gambar, sinyal film, atau sinyal lain.

Proses modulasi dilakukan untuk memudahkan proses transmisi, sehingga didapat efisiensi perangkat transmisi serta jarak jangkauannya juga akan lebih jauh. Modulasi terdiri atas dua macam, yaitu modulasi sinyal analog dan modulasi sinyal digital. Modulasi analog adalah, menumpangkan sinyal informasi dalam bentuk analog kedalam sinyal pembawa yang juga dalam bentuk sinyal analog. Contohnya modulasi FM. Sedangkan modulasi digital adalah menumpangkan sinyal informasi dalam bentuk digital kedalam sinyal pembawa yang dalam bentuk sinyal analog. Contohnya adalah modulasi FSK, contoh aplikasi modulasi adalah modem (modulator/demodulator) untuk mengirimkan sinyal digital dari komputer melalui media gelombang radio yang hanya dapat dilewati oleh sinyal analog.

#### 2.2 Sinyal Analog

Sinyal data dalam bentuk gelombang yang kontinu, yang membawa informasi dengan mengubah karakteristik gelombangnya. Sinyal analog bekerja dengan mentransmisikan suara dan gambar dalam bentuk gelombang kontinu (*continuous varying*). Dua parameter/karakteristik terpenting yang dimiliki oleh isyarat analog

adalah amplitudo 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 variabel dasar, yaitu amplitudo, frekuensi dan fase.

1. Amplitudo merupakan ukuran tinggi rendahnya tegangan dari sinyal analog.
2. Frekuensi adalah jumlah gelombang sinyal analog dalam satuan detik.
3. Fase adalah besar sudut dari sinyal analog pada saat tertentu.

### **2.3 Sinyal Digital**

Merupakan hasil teknologi yang dapat mengubah signal 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 jangkau 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.

System digital merupakan bentuk sampling dari sytem 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.

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

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

#### 2.4 Modulasi Analog

Dalam modulasi analog, proses modulasi merupakan respon atas informasi sinyal analog, Teknik umum yang dipakai dalam modulasi analog :

Angle Modulation :

1. Modulasi Fase (*Phase Modulation - PM*)
2. Modulasi Frekuensi (*Frequency Modulation - FM*)

Modulasi Amplitudo (*Amplitudo Modulation - AM*)

1. *Double-sideband modulation with unsuppressed carrier (used on the radio AM band)*
2. *Double-sideband suppressed-carrier transmission (DSB-SC)*
3. *Double-sideband reduced carrier transmission (DSB-RC)*
4. *Single-sideband modulation (SSB, or SSB-AM), very similar to single-sideband suppressed carrier modulation (SSB-SC)*
5. *Vestigial-sideband modulation (VSB, or VSB-AM)*

## 2.5 Modulasi Digital

Modulasi digital merupakan proses penumpangan sinyal digital (bit stream) ke dalam sinyal carrier. Modulasi digital sebetulnya adalah proses mengubah-ubah karakteristik dan sifat gelombang pembawa (*carrier*) sedemikian rupa sehingga bentuk hasilnya (*modulated carrier*) memiliki ciri-ciri dari bit-bit (0 atau 1) yang dikandungnya. Berarti dengan mengamati *modulated carrier*-nya, kita bisa mengetahui urutan bitnya disertai clock (timing, sinkronisasi). Melalui proses modulasi digital sinyal-sinyal digital setiap tingkatan dapat dikirim ke penerima dengan baik. Untuk pengiriman ini dapat digunakan media transmisi fisik (logam atau optik) atau non fisik (gelombang-gelombang radio). Pada dasarnya dikenal 3 prinsip atau sistem modulasi digital yaitu: ASK, FSK, dan PSK

Keuntungan komunikasi digital :

1. Terjadinya interferensi sangat kecil
2. Hampir kebal terhadap *noise*
3. Error hampir selalu dapat dikoreksi.
4. Mudah sekali menampilkan manipulasi sinyal (seperti *encryption*).
5. Range dinamis yang lebih besar (perbedaan nilai terendah terhadap tertinggi) dapat dimungkinkan
6. Meningkatkan kualitas sinyal pengiriman

Sedangkan beberapa kerugian pada sistem komunikasi digital antara lain :

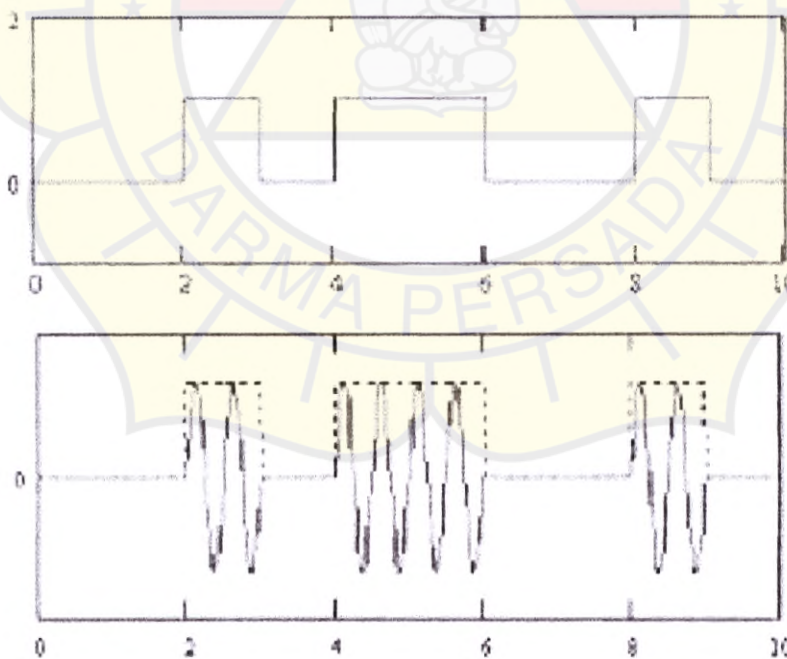
1. Pada umumnya memerlukan *bandwidth* yang lebih besar.
2. Memerlukan sinkronisasi.

### 2.5.1 *Amplitudo Shift Keying (ASK)*

*Amplitudo Shift Keying (ASK)* adalah penguncian tegangan sinyanya binary pada pergeseran amplitudo sinyal pembawa. Perubahan biner tersebut akan mempengaruhi besarnya amplitudo dari frekuensi carrier. Pada gambar 2.1 terlihat perubahan sinyal masukan dan sinyal keluaran pada modulasi *Amplitudo Shift Keying*.

Hasil ASK (*Amplitude Shift Keying*) diwakili oleh perbedaan amplitudo pada carrier. Dimana satu amplitudo adalah *zero*, ini menunjukkan kehadiran dan ketidakhadiran pada carrier yang digunakan. Sifat dari ASK antara lain:

- Rentan untuk pergantian gain tiba-tiba
- Tidak efisien
- Sampai dengan 1200bps pada *voice grade line*
- Digunakan pada *fiber optic*.

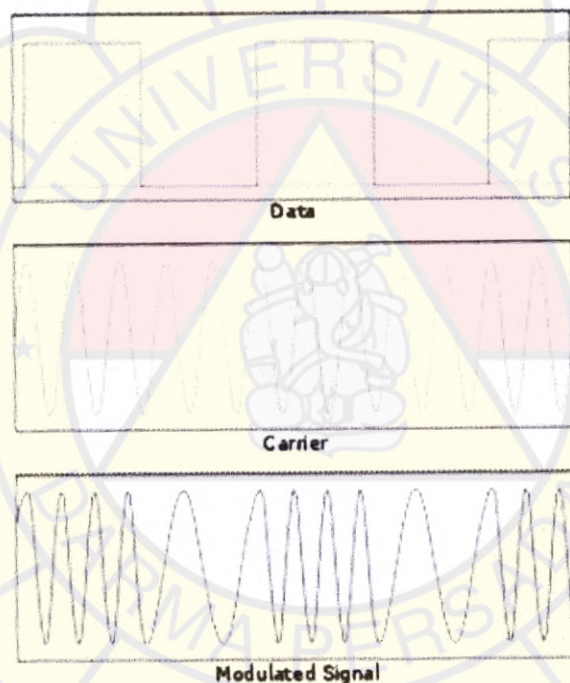


Gambar 2.1 *Amplitudo Shift Keying (ASK)*

### 2.5.2 Frequency Shift Keying (FSK)

FSK (*Frequency shift keying*) merupakan sistem modulasi digital yang relatif sederhana. Dalam modulasi FSK (*Frequency Shift Keying*), isyarat pemodulasi berupa aliran pulsa biner yang bervariasi diantara dua arah tegangan diskret.

Keluaran modulator FSK (*Frequency Shift Keying*) adalah suatu frekuensi tertentu yang sudah ditentukan. Sesuai dengan perubahan isyarat data masukan biner dari logika 0 ke logika 1, atau sebaliknya, keluaran FSK (*Frequency Shift Keying*) bergeser diantara dua frekuensi yaitu suatu mark frekuensi untuk logika 1 dan suatu space frekuensi untuk logika 0.



Gambar 2.2 *Frequency Shift Keying (FSK)*

Pada FSK (*Frequency Shift Keying*) terdapat suatu perubahan frekuensi keluaran setiap adanya perubahan kondisi logika pada isyarat masukan. Sehingga menyebabkan laju perubahan keluaran akan sebanding dengan laju perubahan masukan. Dalam modulasi digital laju perubahan masukan pada modulator disebut bit rate dan memiliki satuan *bit per second* (bps). Sedangkan laju perubahan pada keluaran modulator disebut baud atau baud rate. Dalam FSK (*Frequency Shift Keying*) biner, laju masukan dan laju keluaran adalah sama sehingga, *bit rate* dan *baud rate* adalah sama.

### 2.5.3 Phase Shift Keying (PSK)

*Phase Shift Keying* (PSK) adalah modulasi yang menyatakan sinyal digital 1 sebagai suatu nilai tegangan tertentu dengan beda fasa tertentu pula (misalnya tegangan 1 Volt dengan beda fasa 0 derajat), dan sinyal digital 0 sebagai suatu nilai tegangan tertentu (yang sama dengan nilai tegangan sinyal PSK bernilai 1, misalnya 1 Volt) dengan beda fasa yang berbeda (misalnya beda fasa 180 derajat).

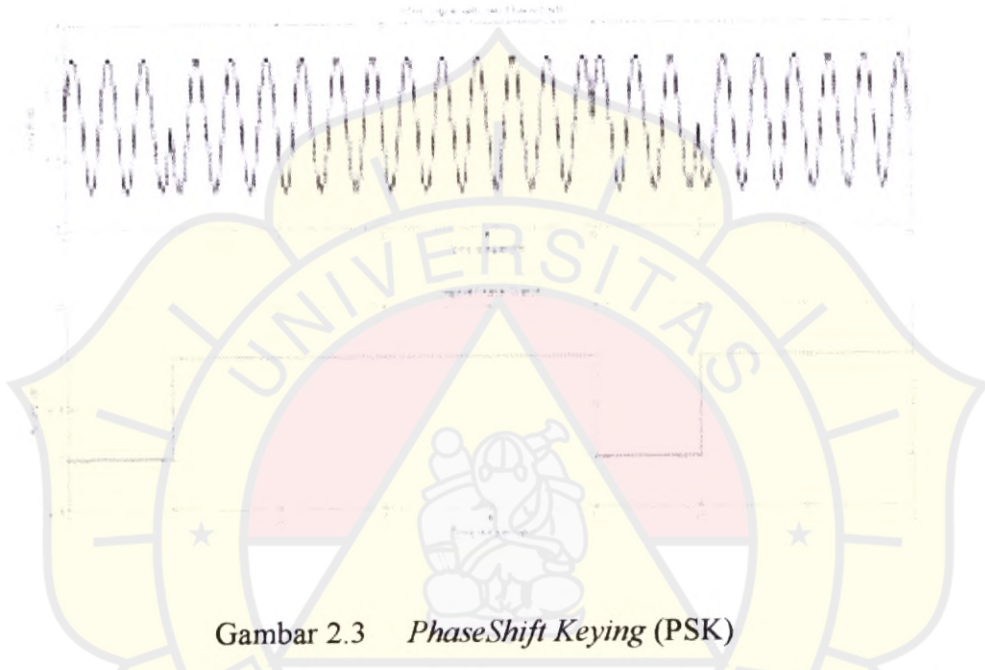


Gambar 2.3 *PhaseShift Keying* (PSK)

Dalam pengiriman sinyal digital dari sumber ke tujuan, sebagian dari hubungannya merupakan saluran radio. akan tetapi, karena dalam sinyal digital yang di kirim salurannya hanyalah dua macam informasi yaitu angka 1 dan 0 modulasinya bisa lebih sederhana. Sistem modulasi yang paling umum digunakan system *phase shift keying* (PSK). Dalam system ini untuk 1 dan 0 gelombang pembawa diberi beda phase yang cukup besar seperti  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Sebaliknya, dipenerima detector hanya mendeteksi perbedaan phase ini dan memberikan pulsa-pulsa bit 1 dan 0. Deretan bit 1 dan 0 dapat berasal dari suatu system FDMA, TDMA dan CDMA.

### 2.5.3 Phase Shift Keying (PSK)

*Phase Shift Keying* (PSK) adalah modulasi yang menyatakan sinyal digital 1 sebagai suatu nilai tegangan tertentu dengan beda fasa tertentu pula (misalnya tegangan 1 Volt dengan beda fasa 0 derajat), dan sinyal digital 0 sebagai suatu nilai tegangan tertentu (yang sama dengan nilai tegangan sinyal PSK bernilai 1, misalnya 1 Volt) dengan beda fasa yang berbeda (misalnya beda fasa 180 derajat).



Gambar 2.3 *PhaseShift Keying* (PSK)

Dalam pengiriman sinyal digital dari sumber ke tujuan, sebagian dari hubungannya merupakan saluran radio. Akan tetapi, karena dalam sinyal digital yang dikirim salurannya hanyalah dua macam informasi yaitu angka 1 dan 0, modulasinya bisa lebih sederhana. Sistem modulasi yang paling umum digunakan adalah sistem *phase shift keying* (PSK). Dalam sistem ini untuk 1 dan 0 gelombang pembawa diberi beda fase yang cukup besar seperti  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Sebaliknya, di penerima, detektor hanya mendeteksi perbedaan fase ini dan memberikan pulsa-pulsa bit 1 dan 0. Deretan bit 1 dan 0 dapat berasal dari suatu sistem FDMA, TDMA, dan CDMA.



Bergantung kepada beda phase yang diberikan untuk setiap informasi, ada beberapa jenis PSK, yaitu :

1. BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

Disini bit 1 dan 0 diberi beda phase sebesar  $180^\circ$  atau  $\pi$

2. QPSK (*Quadratur Phase Shift Keying*)

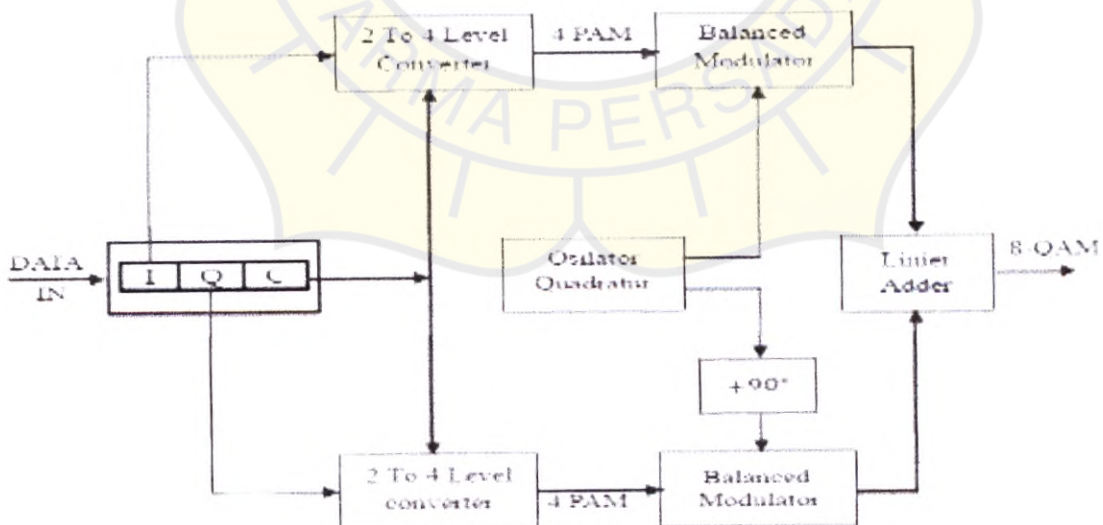
Disini untuk setiap informasi dapat diberikan phase yang berbeda

## 2.6 Sistem Modulasi QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

Quadrature amplitude modulation (QAM) merupakan bentuk modulasi digital dimana informasi digital terdiri dari amplitudo dan phase sinyal carrier.

QAM merupakan perkembangan dari modulasi PSK. Jika pada PSK sinyal data dinyatakan dalam pergeseran fasa dari carrier maka pada QAM proses modulasinya dinyatakan dalam bentuk perubahan fasa dan perubahan amplitude dari carrier.

### 2.6.1 Modulator 8-QAM



Gambar 2.4 Blok Diagram Modulator 8-QAM

Dari blok diagram diatas dapat diuraikan bahwa pada modulator 8-QAM sinyal data yang dibangkitkan oleh rangkaian pembangkit gelombang acak dibagi menjadi tiga bit (*tribit*) serial yang diumpankan ke pembelah bit (*bit splitter*) sehingga secara simultan menjadi data parallel I, Q dan C. Setelah itu diumpakan kembali kerangkaian *2 to 4 level converter* yang merupakain rangkaian 4 level PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) dimana bit I dan Q akan menentukan phase dari sinyal keluarannya sedangkan bit C akan menentukan amplitudanya.

Setelah didapatkan sinyal 4 level PAM dari masing-masing rangkaian *2 to 4 level converter*, kemudian akan ditumpakan ke gelombang pembawa yang dihasilkan oleh osilator quadratur pada rangkaian *balanced modulator* yang keduanya mempunyai perbedaan phase sebesar  $\pi/2$ . Rangkaian *balanced modulator* merupakan saklar pembalikan fasa yang tergantung kondisi logika sinyal informasi biner. *Balanced modulator* ini menggabungkan dua buah sinyal yang masuk pada rangkaian ini, maka dimungkinkan terdapat 4 fasa pada setiap rangkaian *balanced modulator* tersebut. Ketika sebuah penjumlah linier menjumlahkan keluaran dari *balanced modulator*, maka terdapat delapan resultan fasa.

### 2.6.2 Pembentukan Sinyal Termodulasi 8-QAM

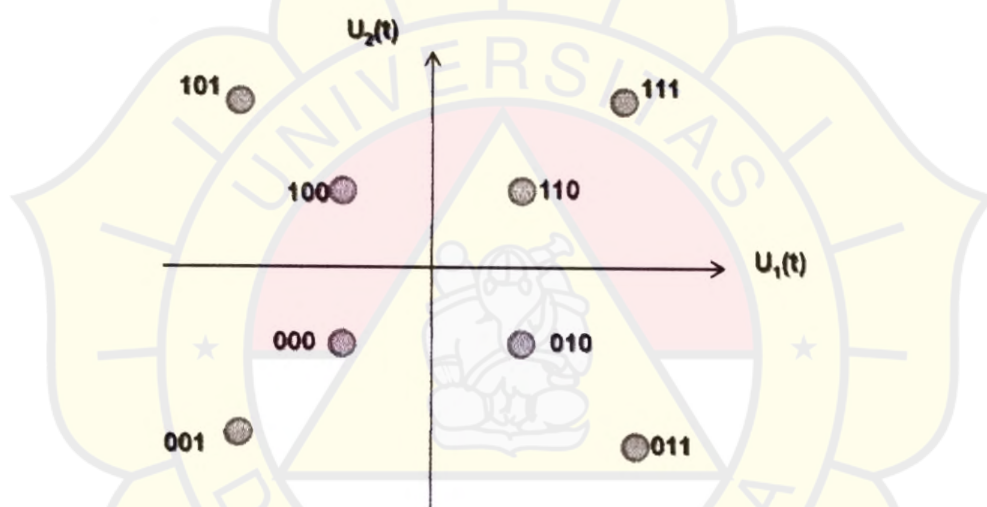
*Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) adalah merupakan sebuah bentuk dari modulasi digital yang informasinya terdiri atas amplitudo dan fasa yang keduanya ditransmisikan oleh pembawa (*carrier*). Sedangkan 8-QAM adalah merupakan sebuah teknik pengkodean M-Array, dimana  $M = 8$ . Dalam pensinyalan menggunakan dua buah pembawa kuadratur (*Quadrature Carrier*) yang masing-masing dimodulasi oleh sebuah osilator referensi

Sinyal keluaran dari sebuah modulator 8-QAM bukanlah merupakan sebuah sinyal yang mempunyai amplitudo konstan, tidak seperti halnya sinyal keluaran dari sebuah modulator 8-PSK.

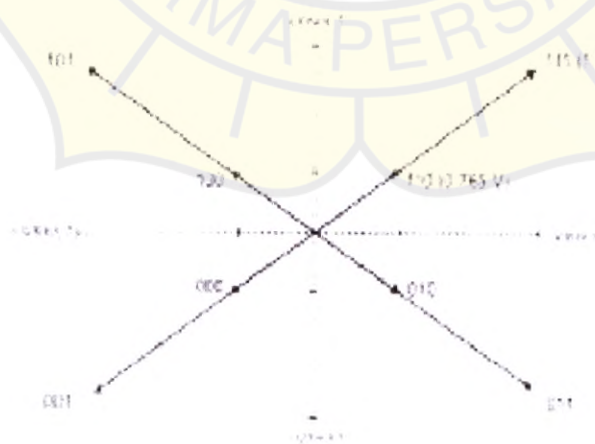
Berikut di bawah ini dapat dilihat dari table kebenaran, diagram konstelasi, diagram fashor dan output fasa – amplitudo untuk 8-QAM

Tabel 2.1 Tabel Kebenaran Benda Fasa 8-QAM

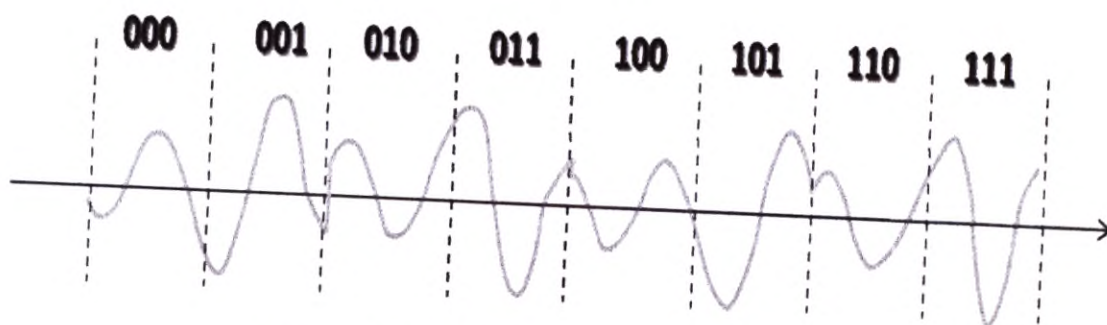
Binary input			8-QAM output	
Q	I	C	Amplitude	Phase
0	0	0	0.765 V	-135°
0	0	1	1.848 V	-135°
0	1	0	0.765 V	-45°
0	1	1	1.848 V	-45°
1	0	0	0.765 V	+135°
1	0	1	1.848 V	+135°
1	1	0	0.765 V	+45°
1	1	1	1.848 V	+45°



Gambar 2.5 Diagram Konstelasi 8-QAM

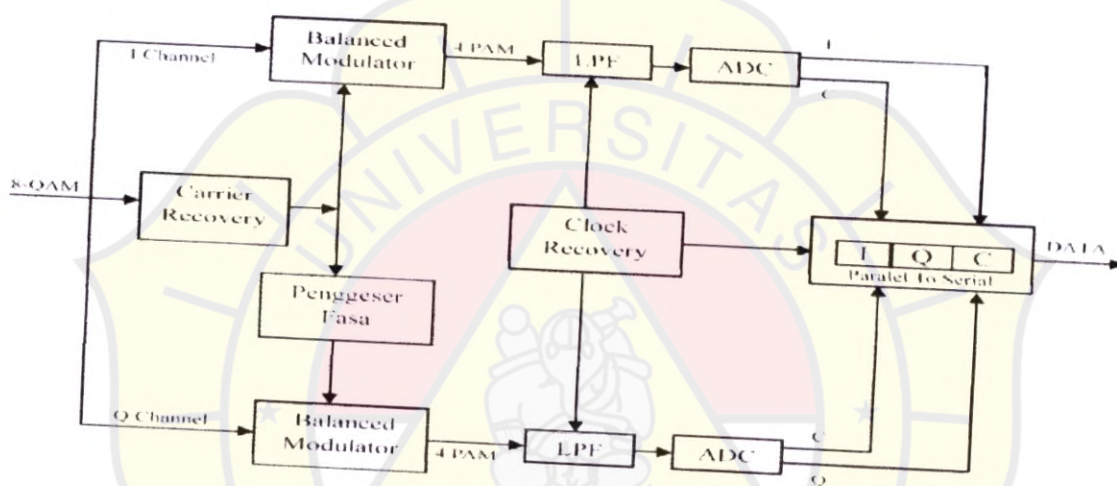


Gambar 2.6 Diagram Phasor 8-QAM



Gambar 2.7 Output Fasa – Ampitudo 8-QAM

### 2.6.3 Demodulator 8-QAM



Gambar 2.8 Blok Diagram Demodulator 8-QAM

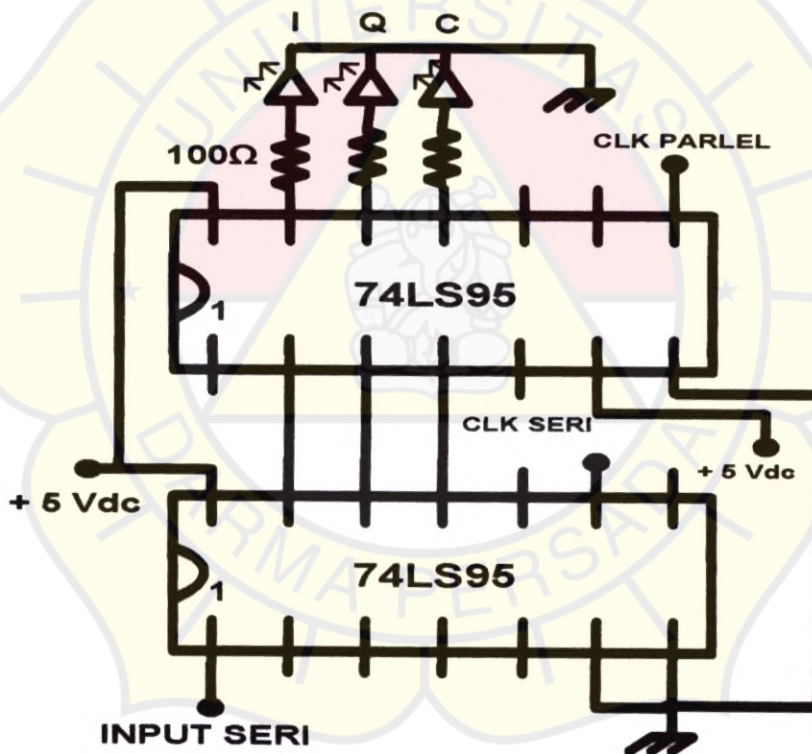
Dari blok diagram demodulator 8-QAM dapat diuraikan bahwa pada demodulator 8-QAM sinyal 8-QAM diumpungkan ke rangkaian *balanced Modulator* kanal I dan kanal Q, dan juga ke rangkaian *carrier recovery*. Pada rangkaian *carrier recovery* dihasilkan gelombang pembawa yang sesuai dengan yang ada pada modulator 8-QAM untuk kemudian diumpungkan ke rangkaian *balanced modulator* kanal I dan kanal Q yang mempunyai perbedaan fasa sebesar .

Sinyal output yang dihasilkan oleh *balanced modulator*, setelah diloloskan terlebih dahulu melalui *Low Pass Filter (LPF)* adalah berupa sinyal 4 level PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), yang kemudian diumpungkan ke rangkaian ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah bentuk sinyal dari analog ke bentuk sinyal digital.

keluaran dari ADC yang ada pada kanal I adalah bit I dan bit C sedangkan keluaran yang ada pada kanal Q adalah bit Q dan dan bit C. Semua bit yang berasal dari kedua kanal tersebut akan bergabung secara parallel dan kemudian memasuki bagian *parallel to serial converter* yang berfungsi untuk mengubah susunan bit-bit yang masuk dari bentuk parallel menjadi bentuk serial.

#### 2.6.4 Serial To Parallel Converter

Rangkaian serial to parallel *converter* berfungsi sebagai rangkaian pengubah masukan data dari serial menjadi data keluaran parallel, dimana kecepatan data keluaran 1/3 dari kecepatan masukan data serial.



Gambar 2.9 Blok Diagram *Bit Splitter*

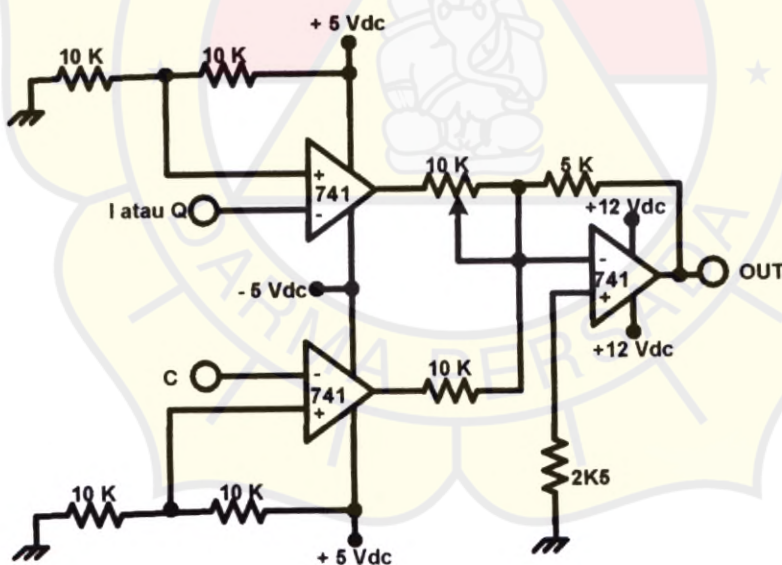
Rangkaian bit splitter terdiri atas :

1. Rangkaian *shift register*
2. Rangkaian *buffer register*
3. Rangkaian pembagi tiga

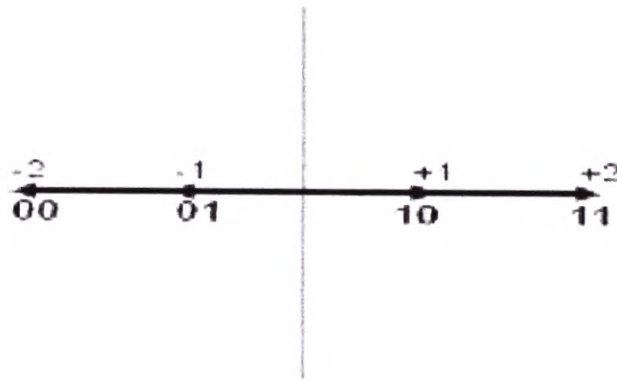
### 2.6.5 Modulasi 4-PAM

Pada modulasi pulsa, pembawa informasi berupa deretan pulsa-pulsa. Pembawa yang berupa pulsa-pulsa ini kemudian dimodulasi oleh sinyal informasi, sehingga parameternya berubah sesuai dengan besarnya amplitudo sinyal pemodulasi (sinyal informasi). Teknik modulasi pulsa mulai menggantikan system analog, karena beberapa keuntungan antara lain:

1. Kebal terhadap derau.
2. Sirkuit digital cenderung lebih murah.
3. Jarak transmisi yang dapat ditempuh lebih jauh (dengan penggunaan pengulang regeneratif).
4. Rentetan pulsa digital dapat disimpan.
5. Sinyal direpresentasikan dengan 4 nilai besaran amplitudo dari gelombang pembawa.



Gambar 2.10 Blok Diagram 2 To 4 Level Converter



Gambar 2.11 Bentuk Konstelasi 4-PAM

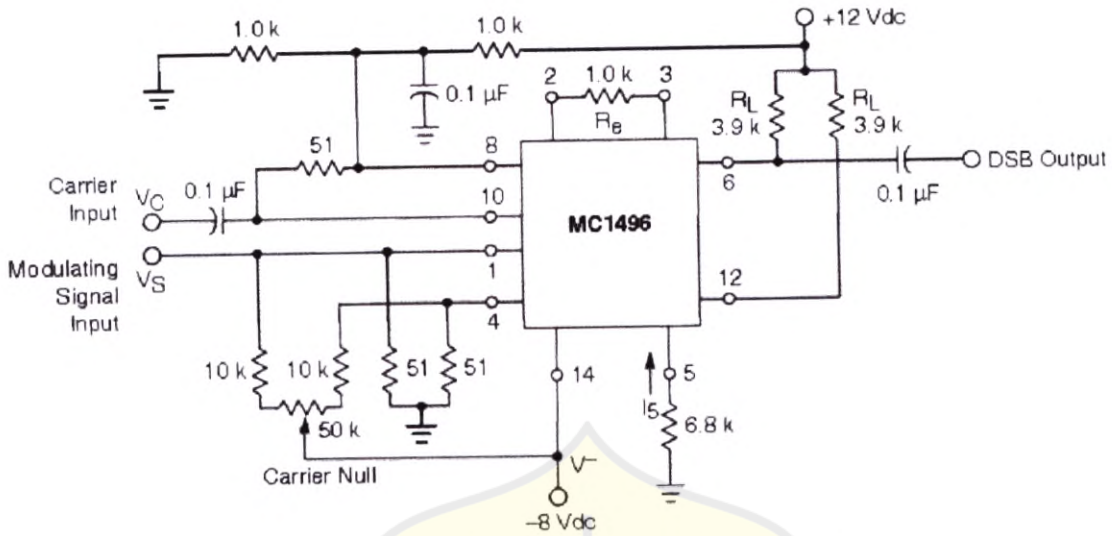
Jika pulsa-pulsa dikirim dengan pesat  $f_s$  bit per detik maka pulsa-pulsa tersebut akan mencapai amplitude penuhnya jika dilewatkan LPF. Maka dimungkinkan untuk mengirim 2 simbol per detik per hz tanpa terjadi interferensi antar simbol pada PAM 4 level berarti 1 simbol terdiri atas 2 bit maka secara teoritis 4-PAM dapat mentransmisikan 4 b/s/hz (yaitu  $2 \times 2 = 4$ )

Tabel 2.2 Sinyal 2 level dan Konversinya ke PAM 4 Level

Bit value	Amplitude
00	-2
01	-1
10	+1
11	+2

### 2.6.6 Balanced Modulator

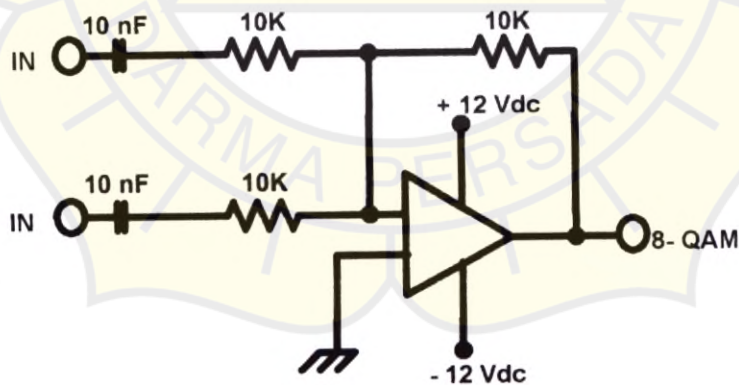
Balanced Modulator merupakan rangkaian pengali atau pembalik fasa. Keluaran dari balanced modulator ini merupakan hasil perkalian dari dua sinyal masukan, yaitu masukan sinyal pembawa yang berupa gelombang sinusoida yang dihasilkan oleh rangkaian osilator quadratur dikalikan dengan rangkain pengubah level 2 ke 4 yang berupa PAM (*Pulse Amplitude Modulation*)



Gambar 2.12 Blok Diagram *Balance Modulator*

### 2.6.7 Penjumlah Linier (*Linier Adder*)

Rangkaian penjumlah linier dipakai untuk menggabungkan dua sinyal masukan menjadi satu sinyal keluaran, sinyal keluaran bisa merupakan penjumlahan dengan penguatan maupun penjumlahan langsung sinyal masukan atau biasa disebut dengan mixer.



Gambar 2.13 Blok Diagram *Linier Adder*

Pada penjumlah langsung semua hambatan masukan dan hambatan umpan balik harus sama besar, bila diperlukan penguatan tahanan umpan balik dibuat lebih besar.