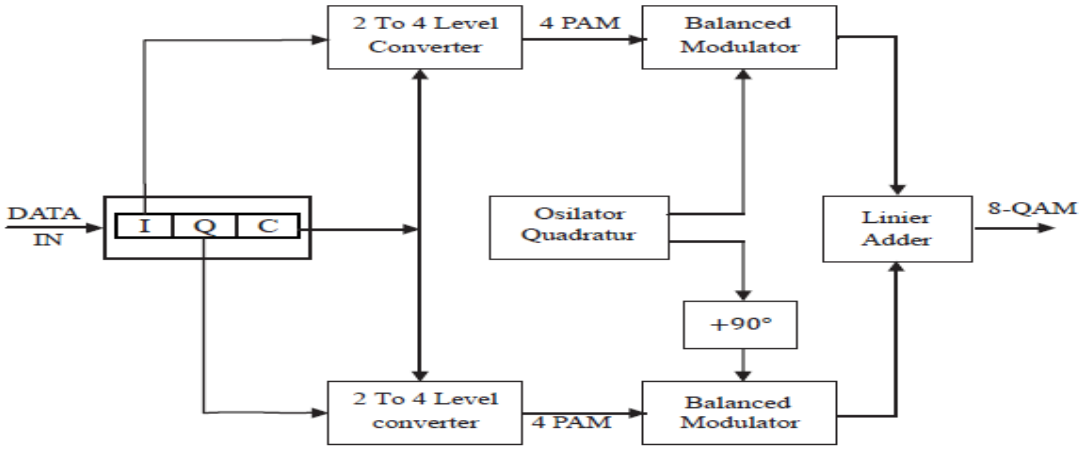
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Modulator 8-QAM



Gambar 2.1 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 amplitudenya. 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 . 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 yang mungkin.

2.2 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-Arry, dimana M = 8. Dalam pensinyalan menggunakan dua buah pembawa kuadratur (*Quadrature Carrier*) yaitu cos $2\pi f_c t$ dan sin $2\pi f_c t$ yang masing-masing dimodulasi oleh sebuah osilator referensi, sehingga bentuk persamaan gelombangnya adalah sebagai berikut :

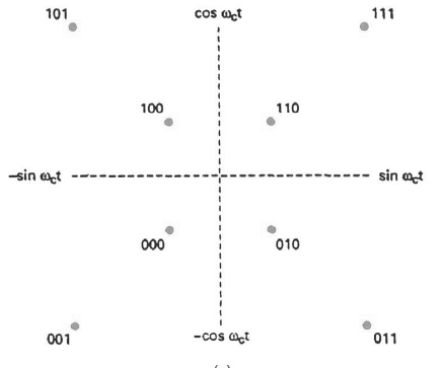
$$Um(t) = Am(t) \cos 2\pi f_c t + Am(t) \sin 2\pi f_c t \quad , m = 1, 2, \ldots, M \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

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.

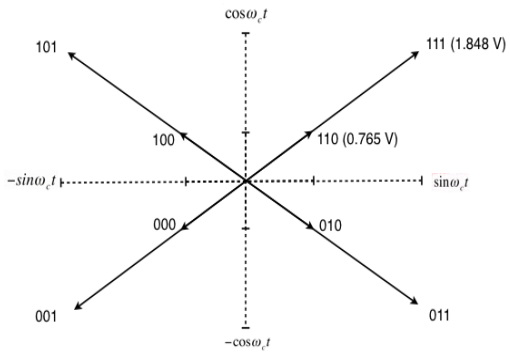
Berikut di bawah ini dapat dilihat dari table kebenaran, diagram konstelasi, diagram fashor dan output fasa – amplitudo untuk 8-QAM :

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°

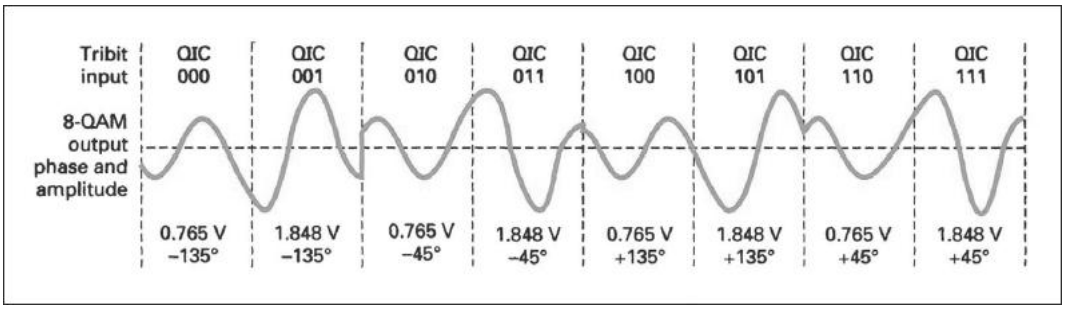
(A)



(B)



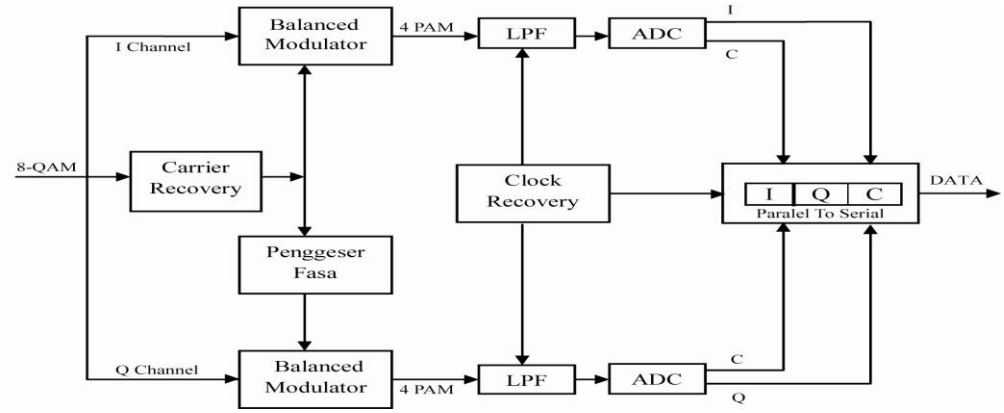
(C)



(D)

Gambar 2.2 (A) Table Kebenaran (B) Diagram Konstelasi (C) Diagram Phasor (D)Output Fasa – Ampitudo 8-QAM

2.3 Demodulator 8-QAM



Gambar 2.3 Blok Diagram Demodulator 8-QAM

Dari blok diagram demodulator 8-QAM dapat diuraikan bahwa pada demodulator 8-QAM sinyal 8-QAM diumpankan 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 diumpankan kerangkaian *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 diumpankan 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.

2.4 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 $\frac{1}{3}$ dari kecepatan masukan data serial.

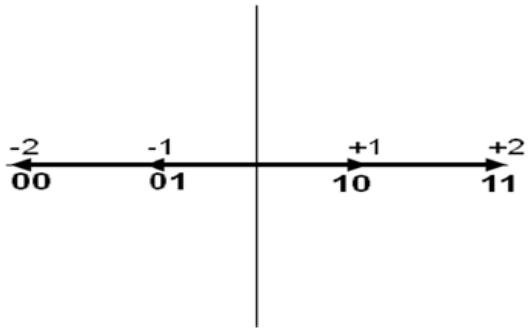
Rangkaian bit splitter terdiri atas :

- Rangkaian *shift register*
- Rangkaian *buffer register*
- Rangkaian pembagi tiga

2.5 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:

a. Kebal terhadap derau.
b. Sirkuit digital cenderung lebih murah.
c. Jarak transmisi yang dapat ditempuh lebih jauh (dengan penggunaan pengulang regeneratif).
d. Rentetan pulsa digital dapat disimpan.
e. Sinyal direpresentasikan dengan 4 nilai besaran amplitudo dari gelombang pembawa.



Gambar 2.4 Bentuk Konstelasi 4-PAM

Jika pulsa-pulsa dikirim dengan pesat fs bit per detik maka pulsa-pulsa tersebut akan mencapai amplitude penuhnya jika dilewatkan LPF dengan lebar bidang fs/2 Hz. 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 x 2 = 4)

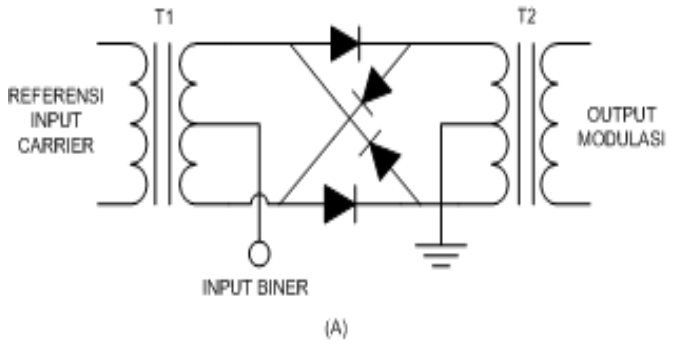
Bit value	Amplitude
00	-2
01	-1
10	+1
11	+2

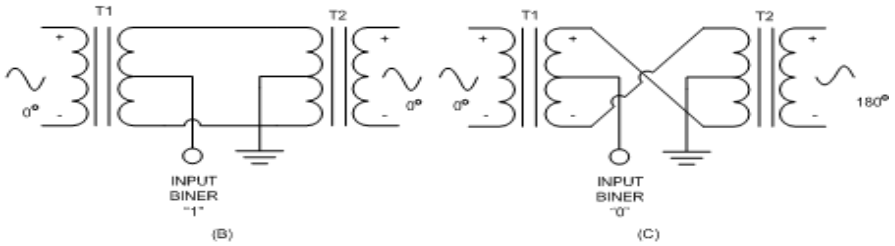
Gambar 2.5 Sinyal NRZ 2 level dan Konversinya ke PAM 4 Level

2.6 Balanced Modulator

Balanced Modulator merupakan rangkaian pengali atau pembalik phasa. 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*)

Rangkaian balanced modulator yang digunakan sudah berbentuk *Integrated circuit* (IC) MC 1496 :





Gambar 2.6 (A) Balanced Ring Modulator (B) Masukan Biner 1

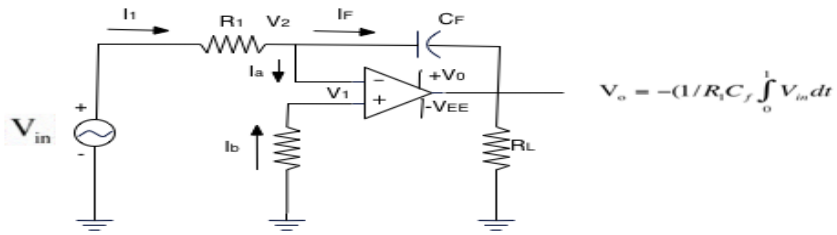
(C) Masukan Biner 0

2.7 Osilator Quadratur

Osilator ini menghasilkan 2 gelombang yaitu gelombang sinus dan gelombang cosinus, untuk mendapatkan gelombang cosinus dengan cara menggeser 90^0 gelombang sinus.

Pada rangkaian osilator quadratur terdiri dari dua rangkaian integrator dengan umpan balik positif. Gelombang sinus dibangkitkan oleh rangkaian integrator pertama, kemudian gelombang sinus diintegralkan oleh rangkaian integrator kedua maka dihasilkan gelombang cosinus.

Pada prinsipnya rangkaian integrator adalah seperti berikut ini :



Gambar 2.7 Rangkaian Integrator

Menurut hukum kirchoff arus

$$I_1 = I_a + I_f$$

Jika $I_b <<$ maka $I_1 \cong I_f$

Sehingga arus dan tegangan pada capasitor C_F

$$I_F = Cd_{vc}/dt \text{ ; atau}$$

$$(V_{in-V_1})/R_1 = C_F(d/dt)(V_2 - V_0)$$

Jika penguatan op-amp besar sekali maka asumsi yang ada $v_1 = v_2 \cong 0$

$$\int_0^1 (V_{in}/R_1)dt = \int_0^1 C_F d/dt(-V_0)dt$$

$$= C_F(-V_0) + V_0\big|_{t=0}$$

$$V_0 = -1/R_1C_F \int_0^1 V_{in}dt \quad \text{..... (2.2)}$$

Dengan Menggunakan hukum arus Kirchoff

$$I_{vin1} + I_{vin2} = I_b + I_F$$

Jika I_b = 0 A dan $V_{in1} = V_{in2} \cong 0$ V

$$V_{in1}/R_1 + V_{in2}/R_2 = V_o/R_F$$

Sehingga tegangan keluaran dari rangkaian penjumlah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_{out} = -\left\lfloor \frac{R_F}{R_1} \times V_1 + \frac{R_F}{R_2} \times V_2 \right\rfloor \text{..... (2.3)}$$

2.8 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.

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

2.9 Low Pass Filter (LPF)

Menurut kamus Webster, penyaring (filter) adalah alat atau benda yang dapat melewatkan arus listrik yang mempunyai frekuensi atau daerah frekuensi tertentu dan menahan frekuensi lainnya. Secara khusus rangkaian filter tersusun dari tahan dan kapasitor yang dibangun oleh Op-amp.

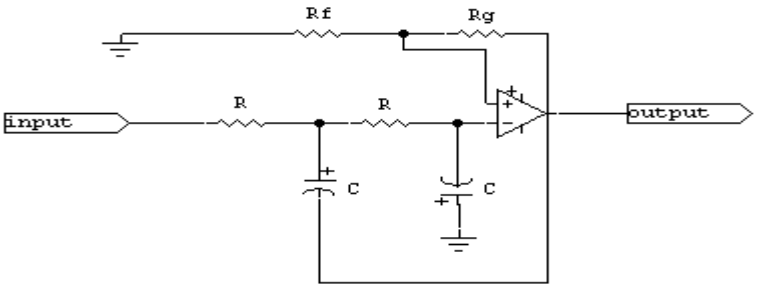
Filter aktif memberikan beberapa keuntungan sebagai berikut :

- tidak ada redaman sisipan (*insertion loss*) karena op-amp amapu memberikan penguat, sinyal input tidak akan langsung teredan ketika penapis melewatkan frekuensi-frekuensi yang bersangkutan.
- Penyetelan filter adalah pada jalur frekunsi yang lebar, tanpa perlu mengubah respon yang diingnkan.
- Pengisolasian, penggunaan Op-amp pada filter aktif menghasilkan impedansi input yang tinggi serta impedansi output yang rendah, sehingga terjamin penisolasian yang baik, ini berarti bahwa antara filter dengan sumber atau tegangan hampir tidak terjadi interaksi.

Disisi lain ada kelemahan atau keterbatasan dalam penggunaan filter aktif ini antara lain :

- Respon frekuensi yang tergantung dari tipe op-amp yang digunakan.

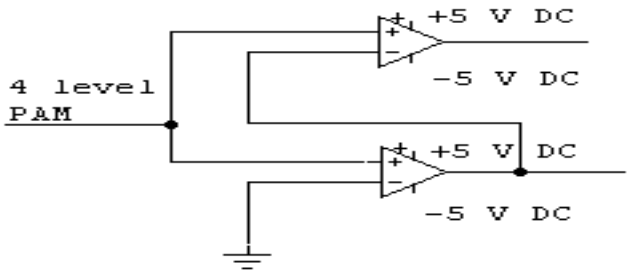
- Catu daya yang diperlukan ada beberapa macam untuk memberikan daya pada op-amp.



Gambar 2.8 Low Pass Filter

2.10 Analog To Digital Converter

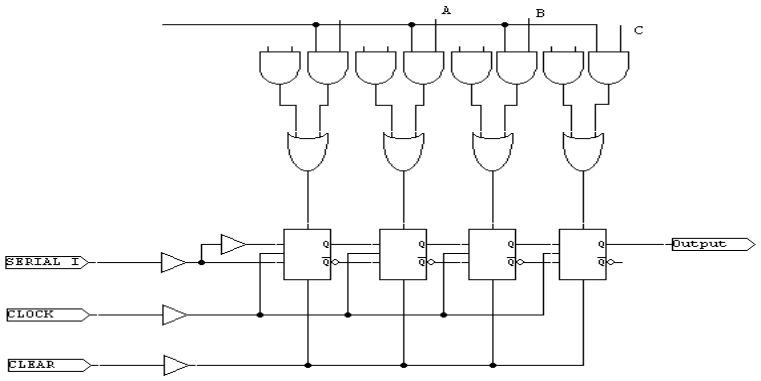
Pada bagian pengubah analog ke digital yang direalisasikan dengan menggunakan pengubah 4 ke 2 data akan diubah dari data yang berbentuk sinyal analog diubah menjadi data yang berbentuk sinyal digital.



Gambar 2.9 Pengubah Analog Ke Digital

2.11 Parallel To Serial Converter

Sinyal data keluaran decition circuit yang masing-masing memiliki kecepatan R/3 Mbps, akan dijadikan satu data dengan kecepatan R Mbps dan di apliksikan dalam satu rangkaian pengubah parallel ke serial.



Gambar 2.10 Pengubah Paralel Ke Serial

2.12 Efesiensi Bandwith

Efesiensi Bandwith atau rapat informasi sering digunakan untuk membandingkan unjuk kerja teknik modulasi digital yang satu dengan jenis lainnya, pada dasarnya efesiensi bandwith merupakan perbandingan antara bit rate transmisi dengan minimum bandwith yang dibutuhkan untuk suatu teknik modulasi digital.

Hasil dari suatu perbandingan tersebut dinormalisasikan pada bandwith 1 Hz yang hasilnya merupakan banyak bit yang dapat di kirim melalui suatu medium tiap Hertz dari bandwith.

$$\text{Efesiensi bandwith} = \frac{\text{kecepatan transmisi (Bps)}}{\text{minimum bandwith (Hz)}} = \frac{\text{bits/second}}{\text{herts}}$$

$$= \frac{\text{bits/second}}{\text{cycles/second}} = \frac{\text{bit}}{\text{cycle}}$$

Dalam modulator 8-QAM dari data masukan dibagi dalam 3 saluran, bit rate pada Q, I, dan C sama dengan ⅓ dari data masukan (fb/u) 8-QAM lebih efisien diamna 8-QAM memerlukan ⅓ bandwith yang diperlukan BPSK untuk angka bit masukan yang sama.

Tabel 2.1 Efisiensi Bandwith

Modulasi	Pengkodean	Bandwith (Hz)	Baud	Efesiensi Bandwith (Bps/Hz)
FSK	Satu bit (Single bit)	≥fb	Fb	≤1
BPSK	Satu bit (Single bit)	Fb	Fb	1
QPSK	Dua bit (Dibit)	Fb/2	Fb/2	2
8-PSK	Tiga Bit (Tribit)	Fb/3	Fb/3	3
8-QAM	Tiga Bit (Tribit)	Fb/3	Fb/3	3

2.13 Spectrum Sinyal QAM

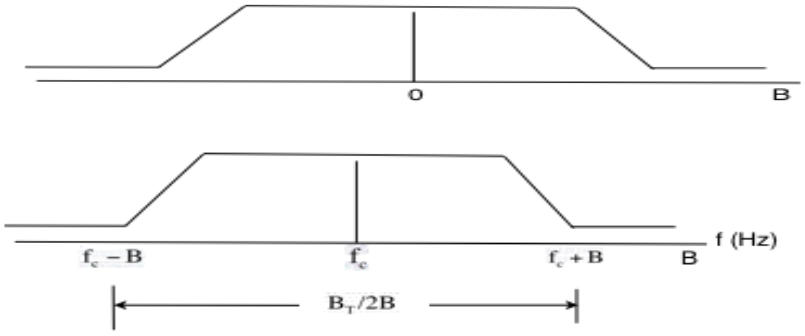
Sinyal QAM umumnya harus mempunyai spectrum terpusat dengan frekuensi pembawa ; fc = $\Omega_o / 2\pi$, dan terdapat dua pita yaitu pita sisi atas dan pita sisi bawah sehingga terbentuk adanya bandwith B (Hz).

Dengan menggunakan "*Nyquist Sampling*", secara sfesifik menyatakan bandwith transmisi B_T (Hz) bersesuaian dengan bandwith band dasar B = $B_T/2$ (Hz). Simbol rate yang bias ditransmisikan melalui kanal dengan bandiwth band dasar B(Hz) adalah 2B / (1+r), dengan factor *roll-off* "r" bervariasi dari harga ideal "0" (untuk ideal Low Pass Filter) sampai "1" (untuk Raised Cosine Filter).

Untuk signal QAM dengan M = 2^k terdapat symbol atau pernyataan yang mungkin, bit rate k B_T / (1+r) bit/s atau k / (1+r) (bit/s) / Hz dari bandwith transmisi. Pada table 2.2 menunjukan transmisi QAM dengan bit rate per-bandwith untuk transmisi.

Tabel 2.2 Transmisi QAM Dengan Bit Rate Per-Bandwith Unit Transmisi

M	L (bits)	$\eta = R/B_T = [^{bits}/_{sec\ per\ HZ}]$					
		R=0,0	R=0,1	R=0,25	R=0,5	R=0,75	R=1
2	1	1,00	0,909	0,800	0,667	0,571	0,500
4	2	2,00	1,82	1,60	1,33	1,14	1,00
8	3	3,00	2,73	2,40	2,00	2,00	1,50



Gambar 2.9 Spektrum QAM Dengan Bandwith Transmisi $B_T/2B$ (Hz).

2.14 Error Probabilitas untuk system modulasi 8-QAM

Untuk system modulasi QAM, probabilitas kesalahan harus di lihat sinyal konstelasinya terlebih dahulu. Misalnya untuk M = 4 atau 4-QAM maka probabilitas kesalahan rata-rata adalah :

$$P = \frac{1}{4}(4).A^2 = A^2 \quad \text{.....(2.4)}$$

Sementara untuk 8-QAM

$$P_{av} = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\frac{1}{2}(A_{mc}{}^2 + A_{ms}{}^2) = \frac{A^2}{2M}\sum_{m=1}^{M}(a_{mc}{}^2 + a_{ms}{}^2) \text{.....(2.5)}$$

Dimana : A = level amplitudo

A = koordinat dari point sinyal kostelasi

yang dinormalisasikan oleh A.

Sementara itu untuk M-ary QAM dimana M = 2^k ketika k genap, maka sinyal konstelasi QAM sama dengan signal PAM pada *quadrature carrier* dimana mempunyai mempunyai $\sqrt{M} = 2^{k/2}$

Maka persamaan untuk $QAM = P_c = (1 - P\sqrt{M})^2$ .....(2.6)

Dimana $P\sqrt{M} = 2(1 - \frac{1}{\sqrt{M}})Q(\sqrt{\frac{3.Eav}{M - 1No}})$

Dimana Eav / No adalah rata-rata SNR / symbol, maka probabilitas error adalah :

$P_M = 1 - (1 - P\sqrt{m})^2$ .....(2.7)

Tabel 2.3 Perbandingan Bit Error

Teknik Modulasi	C/N ration (dB)	Eb/No ratio (dB)
BPSK	10,6	10,6
QPSK	13,6	10,6
4-QAM	13,6	10,6
8-QAM	17,6	10,6
8-PSK	18,5	14