

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Fitri Amalia dan Mulyono pada tahun 2017 yang berjudul “Analisis Kinerja Transmisi Citra Menggunakan Teknik Modulasi QAM pada Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*” meneliti tentang kinerja transmisi citra warna yang dikirim melalui kanal AWGN dibandingkan kanal *Rayleigh Fading* menggunakan teknik modulasi 16-QAM dengan 64-QAM, selanjutnya dilakukan analisis kinerja transmisi citra menggunakan teknik modulasi QAM pada sistem OFDM. Hasil perbandingan yang diperoleh pada penelitian ini ialah transmisi setiap citra melalui kanal AWGN dan *Rayleigh Fading* menggunakan teknik modulasi 16-QAM lebih cepat mendekati standar BER sebesar  $10^{-3}$  dari pada modulasi 64-QAM. Sistem kinerja citra pada teknik modulasi 16-QAM ini menunjukkan kinerja transmisi citra lebih baik yang disebabkan rendahnya nilai  $E_b/N_0$  yang dibutuhkan dengan selisih nilai rata-rata sekitar 8 dB mampu memberikan presentase *error* yang cukup kecil dari pada menggunakan modulasi 64-QAM [3].

Penelitian Ahmad Nawawi dkk pada tahun 2019 yang berjudul “Analisis Perbandingan Modulasi BPSK, QPSK dan 16-QAM 5G terhadap kanal AWGN dan *Frequency-flat Rayleigh Fading*” melakukan penelitian dengan dua skenario kanal dan mendapatkan hasil berupa hasil simulasi yang didapatkan dari kedua kanal yang digunakan menunjukkan modulasi BPSK dan QPSK yang terbaik karena untuk kanal AWGN hanya membutuhkan  $E_b/N_0$  8.5 dB untuk mendapatkan BER sebesar  $10^{-4}$ , sedangkan untuk kanal *frequency-flat Rayleigh Fading* hanya membutuhkan  $E_b/N_0$  sebesar 34 dB untuk mendapatkan BER sebesar  $10^{-4}$ . Penelitian ini membuktikan bahwa modulasi 5G dengan menggunakan kanal AWGN lebih bagus daripada kanal *Frequency-flat Rayleigh Fading* karena kanal AWGN tidak membutuhkan  $E_b/N_0$  yang lumayan besar [4].

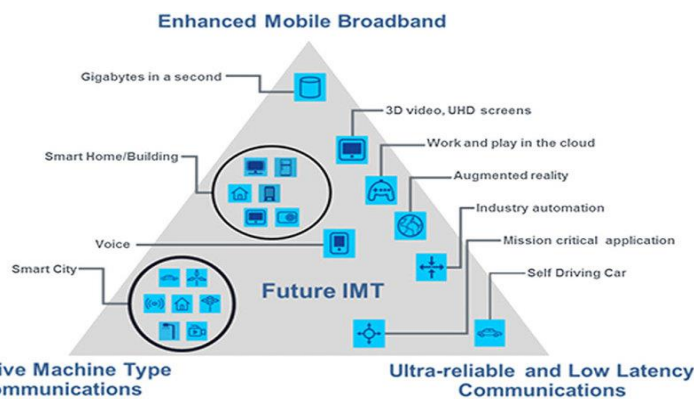
Penelitian Egbunugha dkk tahun 2021 yang berjudul “Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM pada Skema Modulasi Digital yang Berbeda” melakukan

penelitian tentang kinerja modulasi yang berbeda pada sistem MIMO-OFDM dengan menggunakan MATLAB/Simulink. Teknik modulasi digital yang digunakan pada penelitian ini antara lain modulasi 16-QAM dan 64-QAM untuk mengetahui nilai BER dan SNR pada Kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*. Setelah melakukan simulasi ekstensif dan evaluasi kinerja, hasil menunjukkan bahwa teknik modulasi orde rendah mengungguli skema orde tinggi untuk transmisi data melalui Kanal AWGN dan *Rayleigh* sehingga untuk modulasi M-PSK, 8-PSK menawarkan BER terendah. Demikian pula untuk QAM, 16-QAM (0,017 dan 0,0301) dan 64-QAM (0,0265 dan 0,0792) sehubungan dengan meningkatnya SNR sebesar 10dB pada Kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*. Hasil penelitian ini juga menunjukkan kinerja kanal AWGN lebih baik dari pada kinerja kanal *Rayleigh Fading* untuk modulasi yang digunakan. Secara umum hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja BER meningkat dengan meningkatnya SNR [5]

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Teknologi Seluler Generasi Ke-5 (5G)

*Five Generation* (5G) merupakan istilah untuk menyebutkan standar telekomunikasi seluler yang lebih tinggi dari 4G, memiliki konsep kecepatan data yang lebih cepat, *bandwidth* yang lebih besar dan *latency* yang sangat kecil. *International Telecommunication Union* (ITU) sebagai organisasi internasional yang didirikan untuk telekomunikasi internasional telah mengeluarkan rekomendasi ITU-R .2083-0 tentang visinya untuk tahun 2020 yang tertuang dalam program international. IM-2020 akan memperluas dan mendukung beragam skenario penggunaan dan aplikasi sehingga 5G telah disiapkan untuk tahun 2020 [6].



Gambar 2.1 Usage scenarios of IMT for 2020 and beyond [6]

IMT for 2020 and beyond menerapkan skenario *support* penggunaan 5G dirancang dengan tiga skenario berikut:

- a. *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) : Skenario penggunaan *enhanced mobile broadband* akan hadir dengan aplikasi area yang baru dan persyaratan tambahan pada aplikasi *mobile broadband* yang sudah ada untuk meningkatkan performansi dan *user experience* tanpa hambatan.
- b. *Ultra-reliable and low latency communications* (URLLC) : Penggunaan ini harus memiliki persyaratan yang ketat untuk kemampuan *throughput*, *latency*, dan *availability*.
- c. *Massive machine type communications* (MMTC) : Penggunaan ini dikarakteristikan oleh jumlah *device* yang terkoneksi sangat besar *device* diharuskan terjangkau, dan memiliki baterai yang tahan lama[7].

Permasalahan frekuensi yang sangat tinggi yang digunakan pada teknologi 5G NR menghadirkan tantangan baru pada redaman propagasi yang dipengaruhi oleh banyak faktor. Performansi dari suatu sistem komunikasi tergantung pada kanal yang merupakan media di antara antena pengirim (*transmitter*) dan penerima. Untuk mencapai kemampuan komunikasi yang sangat handal seperti kontrol nirkabel terhadap proses produksi maka penelitian ini terarah ke point *Ultra-reliable and low latency communications* (URLLC). Hal ini dikarenakan URLLC dengan *throughput* yang baik diperlukan dalam sistem komunikasi *wireless* untuk kecepatan pengiriman data sinyal yang diperlukan.

### **2.2.2 Modulasi**

Modulasi merupakan proses perubahan sebuah gelombang periodik menjadi sebuah sinyal yang mampu membawa informasi. Proses modulasi membutuhkan dua buah sinyal pemodulasi yang berupa sinyal informasi dan sinyal *carrier* (pembawa). Sinyal informasi tersebut akan ditumpangkan terhadap sinyal pembawanya (*carrier*). Tujuan utama dari modulasi yaitu untuk menghasilkan sinyal termodulasi yang sesuai dengan karakteristiknya. Parameter yang diubah tergantung pada besarnya modulasi yang diberikan. Secara garis besar diasumsikan bahwa modulasi merupakan proses dimana gelombang sinyal termodulasi

ditransmisikan ke *recciver*. Langkah terbaik untuk mengirimkan informasi yang berupa +1 atau -1 menggunakan gelombang radio adalah memodulasi sinyal *carrie* dengan frekuensi  $f_c$  yang sesuai sinyal informasinya. Bentuk gelombang dari sinyal *carrier*  $S(t)$  dapat dinyatakan sebagai [7].

$$S(t) = A \cos\{2\pi f_c t + \theta(t)\} \quad (2.1)$$

Dimana:

$A$ : Amplitudo

$f_c$ : Frekuensi tengah

$\theta(t)$ : Fasa sesuai dengan variasi waktu dari gelombang sinyal *carrier*.

Pemetaan modulasi dalam 5G NR dilakukan dengan mengambil data biner 0 atau 1 sebagai masukan yang menghasilkan simbol modulasi bernilai kompleks sebagai keluarannya.

### 2.2.3 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)

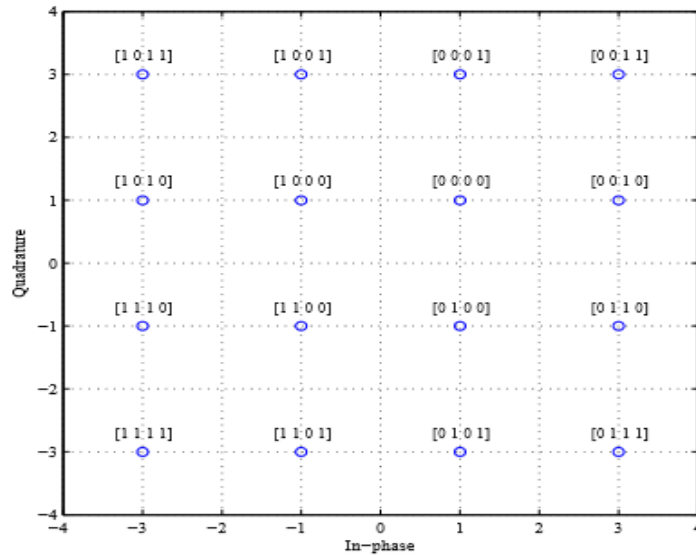
Modulasi 16-QAM adalah modulasi QAM dimana dalam satu simbolnya memuat 4bit data yang akan ditransmisikan. Simbol menyatakan 16 nilai yang berbeda (0000, 0001, 0010, ..... 1111). 16-QAM dengan teknik modulasi M-ary QAM dengan nilai  $M=16$ , dan data rate input dibagi menjadi 4 grup ( $2^4=16$ ). Dalam modulasi 16-QAM memiliki beberapa pasang  $b(4i)$ ,  $b(4i+1)$ ,  $b(4i+2)$ ,  $b(4i+3)$  yang dipetakan dalam simbol angka modulasi kompleks  $d(i)$  [8] sebagai berikut :

$$d(i) = 1/\sqrt{10} \left\{ (1-2b(4i)) [2-(1-2b(4i+2))] + j(1-2b(4i+1)) [2-(1-2b(4i+3))] \right\} \quad 2.2$$

Dimana :

$d(i)$  = simbol modulasi kompleks

$b(4i)$ ,  $b(4i+1)$ ,  $b(4i+2)$ ,  $b(4i+3)$  = empat bit informasi



Gambar 2.2 Diagram konstelasi modulasi 16-QAM pada 5G[9]

### 2.2.4 64-Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM)

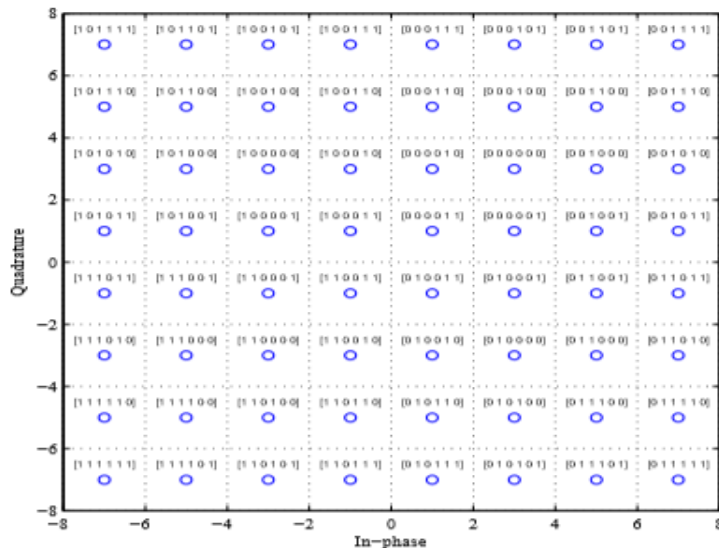
Modulasi 64-QAM menghasilkan simbol modulasi bernilai kompleks yang berisi enam bit informasi per simbolnya. Dalam modulasi 64-QAM memiliki beberapa pasang  $b(6i)$ ,  $b(6i+1)$ ,  $b(6i+2)$ ,  $b(6i+3)$ ,  $b(6i+4)$ ,  $b(6i+5)$  yang dipetakan dalam simbol angka modulasi kompleks  $d(i)$  [8] sebagai berikut :

$$d(i) = 1/\sqrt{42} \left\{ (1-2b(6i)) \left[ 4 - (1-2b(6i+2)) \left[ 2 - (1-2b(6i+4)) \right] \right] + j(1-2b(6i+1)) \left[ 4 - (1-2b(6i+3)) \left[ 2 - (1-2b(6i+5)) \right] \right] \right\} \quad (2.3)$$

Dimana :

$d(i)$  = simbol modulasi kompleks

$b(6i)$ ,  $b(6i+1)$ ,  $b(6i+2)$ ,  $b(6i+3)$ ,  $b(6i+4)$ ,  $b(6i+5)$  = enam pasang bit informasi

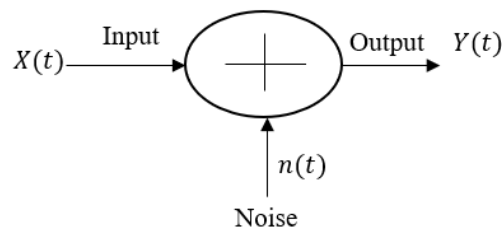


Gambar 2.3 Diagram konstelasi modulasi 64-QAM pada 5G[9]

## 2.2.5 Jenis-Jenis Kanal

### 2.2.5.1 Additive White Gaussian Noise (AWGN)

*Additive White Gaussian Noise* merupakan derau yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, memiliki sifat-sifat *additive*, *white* dan *Gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* yang dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *Gaussian* artinya besar tegangan *noise* memiliki peluang terdistribusi *Gaussian*. Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat *additive* atau ditambahkan terhadap sinyal transmisi. AWGN mempunyai karakteristik respon frekuensi yang sama disepanjang frekuensi dan variannya sama dengan satu. Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan derau yang timbul karena akumulasi derau termal dari perangkat pemancar, kanal transmisi dan perangkat penerima[10].



Gambar 2.4 Pemodelan AWGN[11]

Sinyal keluaran yang melalui kanal AWGN sama dengan sinyal asli yang di tambah *noise* AWGN. Sehingga persamaanya [11]:

$$Y(t) = n(t) + X(t) \quad (2.4)$$

Dimana:

$Y(t)$  : sinyal keluaran

$X(t)$  : sinyal asli

$n(t)$  : *noise*

*Noise* terjadi selama proses transmisi sinyal dikirim sampai diterima bagian *receiver*.

Dalam komunikasi, model kanal AWGN adalah penambahan linear *wideband* atau *white noise* dengan kerapatan *spectral* konstan yang dinyatakan dalam *watt per hertz* dari *bandwidth* dan amplitudo distribusi *Gaussian*. Model ini

tidak memperhitungkan penurunan daya, frekuensi selektivitas, interferensi gelombang, atau dispersi. Namun, AWGN menghasilkan model matematika yang sederhana dan mudah dikerjakan yang dapat menguatkan hambatan dari sistem sebelumnya yang dianggap gejala alam. Besar *noise Gaussian* berasal dari banyak sumber alam.

### 2.2.5.2 Rayleigh Fading

Pada sistem komunikasi *wireless* terdapat gangguan khusus berupa *multipath* dari sinyal yang dipancarkan. *Multipath* merupakan jalur propagasi yang berbeda-beda, yang dilalui sinyal antara pengirim dan penerima, yang disebabkan karena pantulan oleh halangan-halangan dan benda-benda yang ada disepanjang jalur propagasi. Perbedaan jalur propagasi menimbulkan komponen *multipath* dari sinyal yang dipancarkan tiba pada penerima melalui jalur propagasi yang berbeda-beda dan pada waktu yang berbeda pula. Perbedaan waktu tiba pada penerima tersebut menyebabkan fenomena fluktuasi amplitudo dan fasa sinyal yang diterima, dan menimbulkan fenomena mendasar yang disebut *fading* [12].

Fluktuasi amplitudo sinyal yang terjadi adalah acak dan tidak dapat ditentukan sebelumnya, besar dan kapan terjadinya. Namun, *fading* dapat diperkirakan secara statistik berupa nilai secara acak dengan distribusi tertentu. Salah satu distribusi tersebut adalah distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* merupakan salah satu distribusi yang dapat menjadi model untuk mewakili *fading*, sehingga *fading* yang memiliki distribusi *Rayleigh* ini disebut *Rayleigh fading*. Sinyal yang tiba melalui jalur yang berbeda-beda pada *Rayleigh fading* memberikan sejumlah energi yang sama terhadap sinyal gabungan yang ada pada penerima [13]. Persamaan sinyal-sinyal pada kanal *fading* dapat dimodelkan sebagai [12] :

$$Y(t) = s(t)ray(t) + n(t) \quad (2.5)$$

Dimana:

$Y(t)$ : Sinyal terima

$S(t)$ : Sinyal yang ditransmisikan

$n(t)$ : *Gaussian noise*

$ray(t)$ : Dampak kanal *Rayleigh* satu lintasan perambatan.

Dalam sistem komunikasi bergerak, perambatan sinyal antar pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda karena adanya fitur-fitur dan topografi lingkungan sekeliling menjadi permukaan-permukaan pemantul. Lintasan yang berbeda-beda inilah yang mengakibatkan kuat sinyal penerima bervariasi, sehingga fenomena *fading* merupakan karakteristik utama dalam propagasi radio bergerak. Pada komunikasi bergerak terdapat dua macam *fading* yaitu *fading* cepat (*fast fading*) dan *fading* lambat (*slow fading*) jenis *fading* ini disebut juga sebagai *short term fading* untuk *fading* cepat dan *long term fading* untuk *fading* lambat. Fenomena *fading* diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu *large scale fading* dan *small scale fading* yang disebut juga *multipath fading*

*Large scale fading* disebabkan karena akibat keberadaan obyek-obyek pemantul serta penghalang pada kanal propagasi serta pengaruh kontur bumi. *Small scale fading* disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih sinyal terkirim yang sampai di Rx dengan selisih waktu yang tidak begitu jauh, bergabung di antena Rx sehingga menghasilkan resultan dimana amplitudo dan fasanya berubah-ubah. *Small scale fading* dihasilkan oleh dua macam mekanisme yaitu *time spreading* dan *doppler spread*. *Time spreading* sinyal terjadi akibat sinyal datang dengan *delay* berbeda-beda (adanya *multipath*) disebut *delay spread* sedangkan *doppler spread* merupakan ukuran *spectral* akibat dari pergeseran frekuensi karena adanya pergerakan pengguna atau objek disekitarnya[14].

## 2.2.6 Kinerja Performansi Modulasi

### 2.2.6.1 $E_b/N_0$ dan Signal To Noise Ratio (SNR)

*Energy per bit to noise power spectral density ratio* ( $E_b/N_0$ ) merupakan parameter yang biasa digunakan dalam komunikasi digital. Hal ini berguna untuk membandingkan *energy per bit* terhadap *noise*.  $E_b/N_0$  adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan mutu standar kinerja sistem digital. Pada modulasi digital hal ini digunakan dalam perhitungan nilai BER [13].

*Signal to noise ratio* (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal yang diinginkan terhadap *noise* yang muncul pada titik tertentu pada saat transmisi. SNR digunakan untuk mengukur kualitas sebuah kanal transmisi. Apabila SNR semakin



tinggi, maka semakin mudah juga untuk mengidentifikasi sumber *noise* pada kanal[15].

Relasi SNR dan  $E_b/N_0$  secara matematisnya yaitu:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \log_2(Q) \cdot R \cdot L \quad (2.6)$$

Dimana:

$Q$  : Jumlah titik konstelasi

$R$  : *Coding rate*

$L$  : *Factor oversampling*.

Nilai  $Q$  untuk modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM masing-masing 4, 16 dan 64[15].

### 2.2.6.2 Bit Error Rate (BER)

*Bit error rate* (BER) merupakan parameter ukur kualitas sebuah sinyal dengan melihat kesalahan bit yang terjadi saat proses transmisi berlangsung dan membandingkan data keluaran dengan data masukan. Pada BER kurva yang dihasilkan digambarkan dalam hubungan BER (dB) dengan SNR (dB) atau BER (dB) dengan  $E_b/N_0$  [11]. Persamaan umum dari BER dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BER = \frac{\text{jumlahbiterror}}{\text{jumlahtotalbitkirim}} \quad (2.7)$$

Memvalidasikan hasil BER yang didapat dari setiap modulasi dengan teori BER pada setiap kanal, dimodelkan sebagai berikut [16].

1. Teori BER AWGN yang digunakan dalam transmisi 16-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:

$$BER_{16-QAM\_AWGN} = \frac{3}{8} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{2}{5} E_b / N_0} \right) - \frac{9}{64} \operatorname{erfc}^2 \sqrt{\frac{2}{5} E_b / N_0} \quad (2.8)$$

2. Teori BER AWGN yang digunakan dalam transmisi 64-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:

$$BER_{64-QAM\_AWGN} = \frac{7}{24} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{1}{7} E_b / N_0} \right) - \frac{49}{384} \operatorname{erfc}^2 \sqrt{\frac{1}{7} E_b / N_0} \quad (2.9)$$

3. Teori BER *Rayleigh fading* yang digunakan dalam transmisi 16-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:

$$BER_{16\_QAM\_FADING} = \frac{3}{8} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 5 / (2Eb / NO)}} \right] \quad (2.10)$$

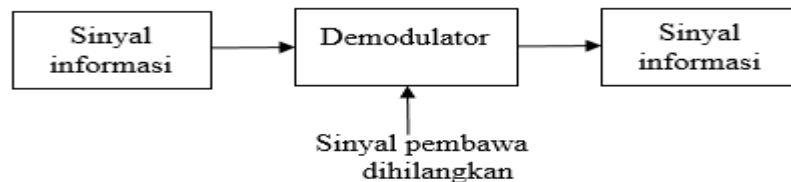
4. Teori BER *Rayleigh fading* yang digunakan dalam transmisi 64-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:

$$BER_{64\_QAM\_FADING} = \frac{7}{24} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 7 / (2Eb / NO)}} \right] \quad (2.11)$$

Erfc sendiri merupakan fungsi *error* pelengkap (*complementary error function*) yang dinyatakan dengan  $\text{erfc}(x)$ [17].

### 2.2.7 Demodulasi

Demodulasi dalam komunikasi digital didefinisikan sebagai kebalikan dari proses modulasi, yaitu mendapatkan kembali sinyal informasi yang ditumpangkan pada sinyal *carrier* (sinyal pembawa). Pada sisi *reciver* sinyal modulasi yang diterima akan dikonversikan kembali ke bentuk asalnya[18]. Defenisi demodulator adalah rangkain yang penerima komuniiasi (radio, televsi dan radar) yang berfungsi memisahkan informasi asli dari gelombang campuran (gelombang isyarat pembawa yang termodulasi). Proses demodulasi dapat digambarkan seperti pada blok diagram 2.5



Gambar 2.5 Blok diagram demodulasi[18]

Pada dasarnya, sinyal yang telah ditansmisikan harus didemodulasikan agar diperoleh sinyal informasi sesuai yang dikimkan pemancar pada sisi penerima (*receiver*) baik 16-QAM dan 64-QAM. Demodulasi 16-QAM dan 64-QAM berada pada sisi penerima, sistem kerjanya adalah merubah kembali bit-bit informasi yang telah diubah kedalam bentuk simbol pada proses modulasi di sisi pengirim, menjadi bit-bit informasi yang sama dengan bit-bit informasi asal. Proses pemetaan balik dari simbol-simbol yang diterima dari pengirim menjadi bit-bit informasi dilakukan pada sub blok *demodulator*.