

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian Islam, Saiful, Rahman, Hasan dan Sultana, Jakeya pada tahun 2015 yang berjudul “*Performance Analysis of QAM and QPSK in AWGN and Multipath Fading Channel*” meneliti tentang kinerja modulasi QPSK dan 16-QAM terhadap kanal AWGN dan *Multipath Fading* serta membandingkan kinerja dari kedua modulasi tersebut terhadap sistem WCDMA mana yang lebih baik. Dari penelitian ini ketika kedua teknik modulasi mendapat *multipath rayleigh fading* menunjukkan bahwa teknik modulasi QPSK memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan 16-QAM.[3]

Penelitian Pramestiara, Tantiana Ayudya dan Nurhayati, Ade pada tahun 2018 yang berjudul “*Simulasi Modulasi Digital QAM, 8-FSK dan BPSK menggunakan Software Matlab untuk Proses Pembelajaran*” meneliti tentang modulasi QAM, 9-FSK dan BPSK terhadap kanal AWGN dan *error calculation*. Dari penelitian ini modulasi digital QAM akan menghasilkan kualitas data lebih baik dari modulasi digital BPSK jika nilai E_s/N_0 -nya berada pada kisaran ≥ 15 dB, sedangkan modulasi digital BPSK akan menghasilkan kualitas data yang baik hanya dengan nilai E_s/N_0 pada kisaran 5dB.[4]

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teknologi generasi kelima (5G)

Fifth generation (5G) merupakan istilah untuk menyebutkan standar telekomunikasi selular yang lebih tinggi dari 4G. Keunggulan teknologi 5G dari sisi kecepatan data yang lebih signifikan dari 4G (*download speed* 1 GB per second) 50 x lebih cepat dari generasi sebelumnya, memiliki *latency* yang sangat rendah dan dapat terkoneksi dengan alat seperti telepon, mobil, dan peralatan rumah tangga [1]. Perbandingan antara teknologi 4G dengan 5G ditunjukkan pada Table 1.1.

Tabel 1.1 Perbandingan antara teknologi 4G dengan 5G[5]

Specification	4G	5G
Full form	Fourth Generation	Fifth Generation

Data Bandwidth	2Mbps to 1Gbps	1Gbps and higher as per need
Frequency Band	2 to 8 GHz	3 to 300 Ghz
Standards	AI access convergence including OFDMA,MC-CDMA,network-LMPS	CDMA and BDMA
Technologies	Unified IP, seamless integration of broadband LAN/WAN/PAN and WLAN	Unified IP, seamless integration of broadband LAN/WAN/PAN/WLAN and advanced technologies based on OFDM modulation used in 5G
Service	Dynamic information access, wearable device, HD streaming, global roaming	Dynamic information access, wearable device, HD streaming, any demand of users
Multiple Access	CDMA	CDMA, BDMA
Core network	All IP network	Flatter IP network, 5G network interfacing (5G-NI)
Handoff	Horizontal and vertical	Horizontal and vertical

International Telecommunication Union (ITU) sebagai organisasi internasional yang didirikan untuk membakukan dan meregulasi radio dan telekomunikasi internasional telah mengeluarkan rekomendasi ITU-R M.2083-0 tentang visinya untuk tahun 2020 dan seterusnya yang tertuang dalam program International. *Mobile Telecommunications* tahun 2020 dan seterusnya (IMT-2020). IMT-2020 akan memperluas dan mendukung beragam skenario penggunaan dan aplikasi sehingga 5G telah disiapkan untuk tahun 2020 ke depan[6].

Jaringan 5G dirancang untuk mendukung banyak perangkat dan aplikasi tertuang dalam visi IMT untuk tahun 2020 dengan tiga skenario jasa yaitu:[7]

1. *Enhanced Mobile Broadband*

Di tengah permintaan akan mobile broadband yang akan terus meningkat, maka visi ini berupaya meningkatkan kemampuan mobile broadband dalam menangani kasus penggunaan human-centric untuk akses konten multimedia, layanan, dan data. Skenario penggunaan broadband mobile yang disempurnakan akan hadir dengan area aplikasi baru dan persyaratan tambahan aplikasi broadband mobile yang ada untuk meningkatkan kinerja dan pengalaman pengguna yang semakin baik. Skenario penggunaan ini mencakup berbagai kasus, termasuk cakupan area luas dan hotspot yang memiliki persyaratan berbeda. Untuk kasus hotspot, yaitu untuk

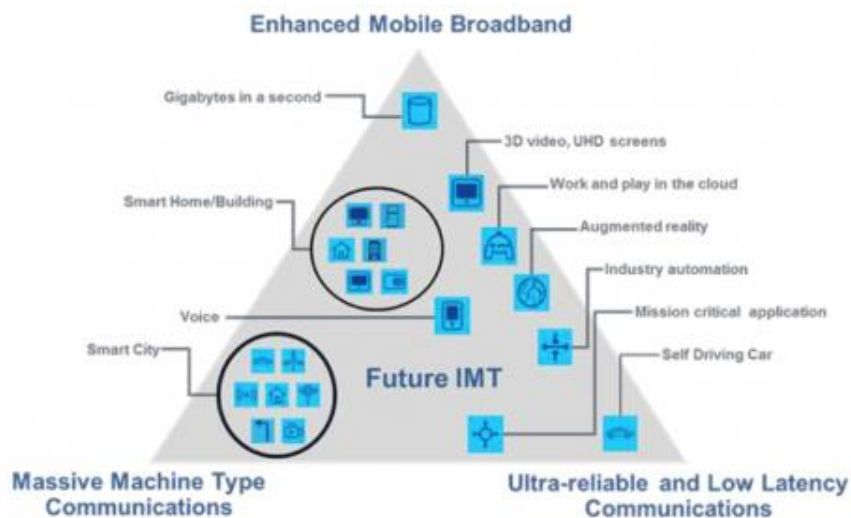
area dengan kepadatan pengguna yang tinggi, dibutuhkan kapasitas lalu lintas yang sangat tinggi.[7]

2. *Ultra-reliable and low latency communications*

Untuk mencapai kemampuan komunikasi yang sangat handal dan latensi (rugi-rugi *jitter*) yang rendah, pada visi ini diperlukan persyaratan ketat seperti adanya throughput yang baik, latensi rendah dan ketersediaan yang tinggi. Beberapa contoh di sini seperti kontrol nirkabel terhadap proses produksi atau industri, operasi medis jarak jauh, otomasi distribusi pada suatu smart grid, keamanan transportasi, dan lain-lain.[7]

3. *Massive machine type communication*

Kemampuan komunikasi ini ditandai oleh terhubungnya sejumlah besar perangkat dengan pengiriman data sensitif tanpa delay pada volume relatif rendah. Untuk mencapai visi ini, perangkat terminal harus diproduksi dengan biaya rendah dan harus memiliki masa pakai baterai yang sangat lama.[7]



Gambar 2.1 Skenario 5G[7]

2.2.2 Modulasi BPSK

Binary Phase Shift Keying (BPSK) menyatakan bit 1 dan 0 dengan menggunakan fasa yang berbeda. Biasanya digunakan beda fasa 180 derajat antara bit 1 dengan bit 0[8]. Sinyal BPSK dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: [8]

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(\omega_c t) & , \text{saat logika 1} \\ A_c \cos(\omega_c t + \pi) = -A_c \cos(\omega_c t) & , \text{saat logika 0} \end{cases} \quad (2.1)$$

dimana:

A_c = amplitudo sinyal

ω_c = frekuensi pembawa

t = waktu

Jika dinyatakan dengan data biner format bipolar, maka persamaan 1 dapat dinyatakan dengan persamaan 2 berikut ini:[8]

$$s(t) = m(t) A_c \cos(\omega_c t) \quad (2.2)$$

Dengan $m(t)$ adalah sinyal data biner dinyatakan dengan persamaan: [8]

$$m(t) = \begin{cases} +1, & \text{saat logika 1} \\ -1, & \text{saat logika 0} \end{cases} \quad (2.3)$$

Dalam modulasi BPSK 5G didapat formula dari turunan formula 2.2 sebagai berikut: [2]

dimana $b(i)$ merupakan biner pertama yang dipetakan dengan simbol angka modulasi kompleks $d(i)$.

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2b(i)) + j(1 - 2b(i))] \quad (2.4)$$

2.2.3 Modulasi QPSK

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) adalah pengembangan dari modulasi PSK dan BPSK. QPSK lebih sering digunakan untuk menggandakan data rate dibandingkan dengan sistem BPSK, dengan tetap menjaga *bandwidth* yang sama dari sinyal dan untuk menjaga tingkat data BPSK namun mengurangi separuh *bandwidth* yang dibutuhkan. Modulasi QPSK juga dapat mentransmisikan dua kali tingkat data dalam *bandwidth* yang diberikan dibandingkan dengan BPSK pada BER yang sama.[9] Sesuai dengan namanya, QPSK memiliki empat buah bentuk sinyal termodulasi. Sinyal termodulasi QPSK didapatkan dari empat macam sinyal masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 11 dan 10. Setiap dua bit biner diwakili satu simbol. Keempat buah bentuk sinyal termodulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90° satu sama lain. Bentuk persamaan dari sinyal QPSK adalah seperti bentuk ini: [10]

$$S_{00} = A\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t - 135^\circ)$$

$$S_{01} = A\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t - 45^\circ)$$

$$S_{10} = A\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t + 135^\circ)$$

$$S_{11} = A\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t + 45^\circ) \quad (2.5)$$

Dimana:

A = Amplitudo sinyal

f_c = frekuensi pembawa

t = waktu

Dalam modulasi QPSK 5G didapat formula dari turunan formula 2.5 sebagai berikut: [2]

Dimana $b(i)$ merupakan biner pertama, $b(i+1)$ merupakan biner kedua yang dipetakan dengan simbol angka modulasi kompleks $d(i)$.

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2b(i)) + j(1 - 2b(i+1))] \quad (2.6)$$

2.2.4 Modulasi 16-QAM

Quadrature Amplitudo Modulation atau QAM adalah suatu cara pentransmisian pada laju bit-bit yang lebih tinggi pada saluran/kanal dengan lebar pita yang terbatas. QAM membagi sinyal yang ditransmisikan menjadi dua bagian, dimana kedua bagian ini berbeda fasa 90° . Orde QAM yang sering dinyatakan sebagai M-ary QAM menunjukkan jumlah simbol QAM yang dapat dihasilkan ($M=2n$), dimana pengelompokan ini tergantung pada banyaknya jumlah bit informasi total yang diwakilkan pada satu simbol [11]. Sebagai contoh penggunaan kumpulan sinyal QAM 16 titik memungkinkan 9600 bit/detik ditransmisikan pada saluran telepon dengan lebar pita 2700 Hz [12]. Sinyal QAM dapat ditulis sebagai berikut: [13]

$$s(t) = Q(t) \sin \omega t + I(t) \cos \omega t \quad (2.7)$$

dengan:

$$Q(t) = A_q \sin Q \quad (2.8)$$

$$I(t) = A_i \cos Q \quad (2.9)$$

Dari persamaan 2.7 dapat dilihat bahwa sinyal QAM dapat dibentuk dengan menjumlahkan sinyal sinusoida beramplituda $Q(t)$ dan sinyal cosinus beramplituda $I(t)$. [13]

16-QAM merupakan teknik modulasi M-ary QAM dengan nilai M= 16. Pada teknik modulasi 16-QAM, data rate input dibagi menjadi 4 grup ($2^4 = 16$) yaitu kanal I, kanal I', kanal Q, dan kanal Q' yang akan melalui proses pengkodean atau konversi level.[13] Modulasi 16-QAM adalah modulasi QAM dimana dalam satu simbolnya memuat 4 bit data yang akan ditransmisikan. Symbol dapat menyatakan 16 nilai yang berbeda (0000, 0001, 0010.....1111)[12]. Berikut persamaan sinyal 16-QAM secara umum:[13]

$$s(t) = Q(t). \sin \omega_c t + I(t). \cos \omega_c t \quad (2.10)$$

dimana:

ω_c = frekuensi pembawa

t = waktu

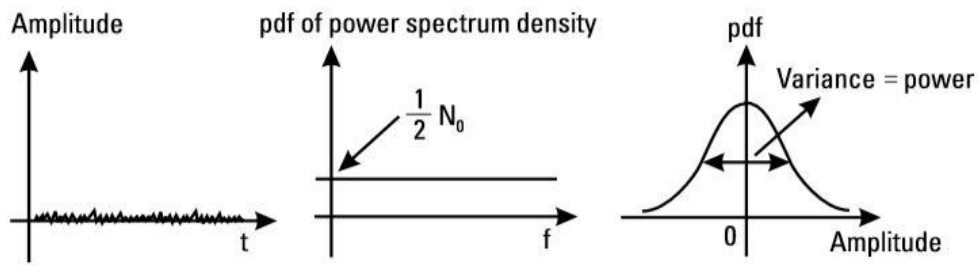
Dalam modulasi 16-QAM 5G didapat formula dari turunan formula 2.10 sebagai berikut: [2]

dimana $b(i)$ merupakan biner pertama, $b(i+1)$ merupakan biner kedua, $b(i+2)$ merupakan biner ketiga, $b(i+1)$ merupakan biner keempat yang dipetakan dengan simbol angka modulasi kompleks $d(i)$.

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{10}} \{ (1 - 2b(i)) [2 - (1 - 2b(i+2))] + j(1 - 2b(i+1)) [2 - (1 - 2b(i+3))] \} \quad (2.11)$$

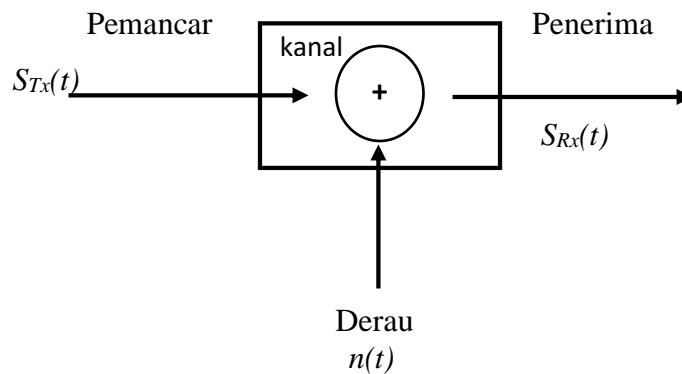
2.2.5 Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Additive White Gaussian Noise (AWGN) merupakan suatu proses stokastik yang terjadi pada kanal dengan karakteristik memiliki rapat daya *spectral noise* merata di sepanjang *range* frekuensi. 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. Derau yang menyertai sinyal pada sisi penerima dapat didekati dengan model matematis statistik AWGN. Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat *Additive* atau ditambahkan terhadap sinyal transmisi, dimodelkan dalam pola distribusi acak *Gaussian* dengan *mean* (m) = 0, standar deviasi (σ) = 1, *power spectral density* (pdf) = $N_0/2$ (W/Hz), dan mempunyai rapat spektral daya yang tersebar merata pada lebar pita frekuensi tak berhingga.[4]



Gambar 2.2 Distribusi *Gaussian*[14]

AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi. Model kanal ini dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 2.3 Permodelan kanal AWGN[4]

Pada gambar gambar 2.3, jika sinyal yang kirim $S_{Tx}(t)$, pada kanal akan dipengaruhi oleh derau $n(t)$ sehingga sinyal yang diterima menjadi:

$$S_{Rx}(t) = S_{Tx}(t) + n(t), 0 \leq t \leq T \quad (2.12)$$

dimana $n(t)$ merupakan *noise* yang terjadi selama proses transmisi sinyal kirim sampai diterima bagian *receiver*[4].

$$n(t) = (randn \cdot S_{Tx}(t) + randn \cdot S_{Tx}(t) \cdot j) / ((\sum \sqrt{(1/SNR)}) / \sqrt{2}) \quad (2.13)$$

dimana:

$randn$ = nilai *random* distribusi normal

S_{Tx} = sinyal pemancar

2.2.6 Kanal *Frequency-flat Rayleigh Fading*

Fading merupakan karakteristik utama dalam propagasi radio bergerak. *Fading* dapat didefinisikan sebagai perubahan fase, polarisasi dan level dari suatu sinyal terhadap waktu. Definisi dasar dari *fading* yang paling umum adalah yang

berkaitan dengan mekanisme propagasi yang melibatkan refraksi, refleksi, difraksi, hamburan dan redaman dari gelombang radio.

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal datar (*flat fading*) yang diterima, atau selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau gaussian membentuk distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* dirumuskan dengan persamaan:[15]

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r < \infty \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

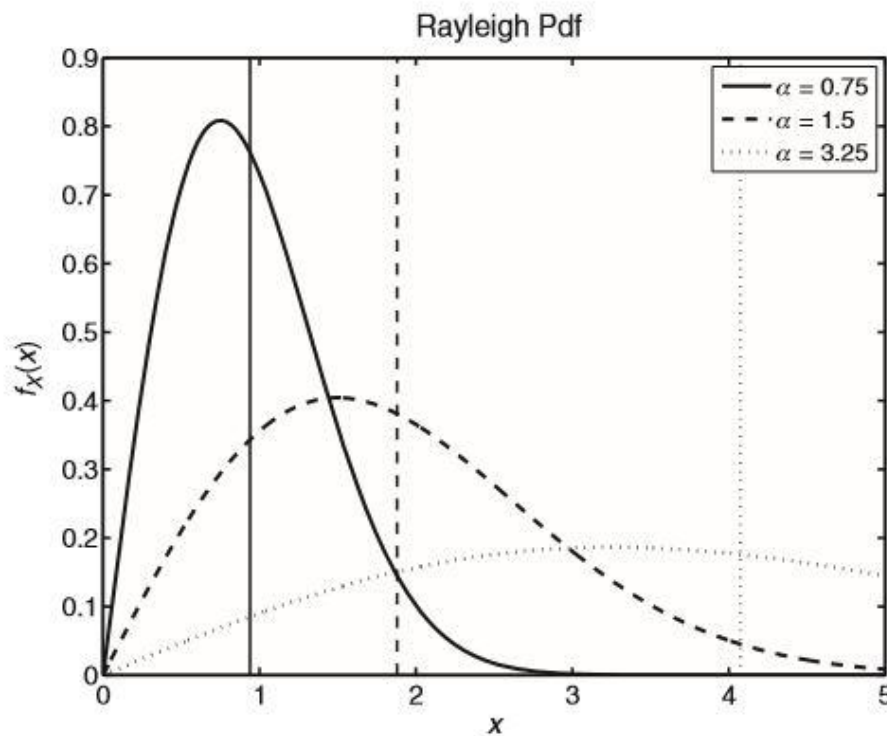
Dimana

$p(r)$ = fungsi kepadatan probabilitas (pdf) munculnya r

r = amplitude acak

σ^2 = varians pdf

Fungsi kepadatan probabilitas distribusi *Rayleigh* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Distribusi *Rayleigh*[15]

Sinyal-sinyal pada kanal *flat fading* dapat dimodelkan sebagai:

$$Y(t) = s(t)\text{ray}(t) + n(t) \quad (2.15)$$

dengan $Y(t)$ adalah sinyal terima, $s(t)$ adalah sinyal yang ditransmisikan, $n(t)$ adalah *Gaussian noise* dan $ray(t)$ adalah dampak kanal *Rayleigh* satu lintasan perambatan, pada kanal *flat fading*, delay akibat perambatan sinyal juga dapat dianggap *flat*[16].

$$ray(t) = (randn + randn \cdot j)/\sqrt{2} \quad (2.16)$$

$$n(t) = (randn \cdot s(t) + randn \cdot s(t) \cdot j)/(\sum\sqrt{(1/SNR)})/\sqrt{2} \quad (2.17)$$

dimana:

$randn$ = nilai *random* distribusi normal

$s(t)$ = sinyal pemancar

2.2.7 E_b/N_0 dan SNR

Energy per bit to noise power spectral density ratio (E_b/N_0) adalah parameter yang biasa digunakan dalam komunikasi digital. E_b/N_0 membandingkan energi per bit terhadap *noise*. Hal ini dibutuhkan dalam perhitungan BER pada beberapa jenis modulasi digital.

Signal to noise ratio (SNR) digunakan untuk mengindikasikan pengaruh *noise* terhadap sinyal yang ditransmisikan. Dengan kata lain, SNR membandingkan daya sinyal yang diinginkan terhadap *noise*. Semakin besar nilai dari E_b/N_0 maka nilai SNR juga semakin tinggi.

Relasi SNR dan E_b/N_0 dapat secara matematis sebagai berikut:[17]

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \log_2(Q) \cdot R \cdot L \quad (2.18)$$

di mana Q adalah jumlah titik konstelasi, R adalah *coding rate*, dan L adalah faktor *oversampling*. Nilai Q untuk modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-quadrature amplitude modulation* (QAM), dan 64-QAM masing-masing adalah 4, 16 dan 64.[17]

2.2.8 BER

Dalam telekomunikasi, rasio *error* adalah rasio jumlah bit, elemen, karakter, atau blok yang diterima dengan salah dibanding jumlah total bit, elemen, karakter, ataupun blok yang dikirim sepanjang interval waktu tertentu. Rasio yang paling sering ditemui adalah *bit error rate* (BER). Biasanya kurva BER digambarkan dalam hubungan BER (dB) dengan SNR (dB) atau BER (dB) dengan E_b/N_0 .[18]

Persamaan umum dari fungsi BER dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:[18]

$$BER = (\text{Jumlah bit error})/(\text{Jumlah total bit kirim}) \quad (2.19)$$

Menvalidasikan hasil BER yang didapat dari setiap modulasi dengan teori BER pada setiap kanal, dimodelkan sebagai berikut:

1. Teori BER AWGN yang digunakan dalam transmisi BPSK dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{BPSK_AWGN} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) \quad (2.20)$$

2. Teori BER AWGN yang digunakan dalam transmisi QPSK dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{QPSK_AWGN} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) \quad (2.21)$$

3. Teori BER AWGN yang digunakan dalam transmisi 16-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{16QAM_AWGN} = \frac{3}{8} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{2}{5} E_b/N_0}\right) - \frac{9}{64} \operatorname{erfc}^2\left(\sqrt{\frac{2}{5} E_b/N_0}\right) \quad (2.22)$$

4. Teori BER Rayleigh fading yang digunakan dalam transmisi BPSK dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{BPSK_FADING} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right] \quad (2.23)$$

5. Teori BER Rayleigh fading yang digunakan dalam transmisi QPSK dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{QPSK_FADING} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right] \quad (2.24)$$

6. Teori BER *Rayleigh* fading yang digunakan dalam transmisi 16-QAM dapat menggunakan skema sebagai berikut:[14]

$$BER_{16QAM_FADING} = \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+5/(2E_b/N_0)}} \right] \quad (2.25)$$

dimana erfc merupakan fungsi error pelengkap (*complementary error function*) yang dinyatakan dengan erfc(x).

2.2.9 Ekualisasi

Ekualisasi adalah proses menghapus *Inter Symbol Interference* (ISI). Pada dasarnya, dalam kasus di mana terdapat ISI di saluran, apa yang terjadi di saluran telah ditambahkan bersama aliran data, ditambah versi tertunda aliran data. Dengan mengambil sinyal yang diterima, menunda bagian dari itu, dan mengurangi itu dari dirinya sendiri, sinyal asli dapat dipulihkan kembali, setidaknya pada prinsipnya.[19] Ekualizer merupakan filter digital yang dipasang pada sisi penerima yang bertujuan agar sinyal yang masuk pada sisi penerima tidak lagi berupa sinyal yang mengalami interferensi.[20]