

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pada penelitian [4] membahas tentang penggunaan skema SISO dan MIMO OFDM 2X2 dalam sistem komunikasi nirkabel. Penelitian ini menggunakan modulasi BPSK, 4-QAM, dan 16-QAM Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis *throughput*, dapat disimpulkan bahwa *throughput* pada sistem komunikasi *single carrier*, SISOOFDM, dan MIMO OFDM 2x2, nilai *throughput* pada sistem komunikasi MIMO OFDM 2x2 lebih tinggi daripada pada SISO OFDM dan *single carrier*. Dengan menggunakan modulasi yang sama, yaitu 4-QAM, *throughput* pada sistem komunikasi MIMO OFDM mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan dengan sistem komunikasi *single carrier* dan SISO OFDM. Ketika digunakan sistem komunikasi *single carrier*, nilai *throughput* adalah 27,74 Mbit/s, pada sistem komunikasi SISO OFDM, nilai *throughput* sebesar 60,27 Mbit/s, sedangkan dengan sistem komunikasi MIMO OFDM 2x2, *throughput* mengalami kenaikan yang signifikan, yaitu sebesar 123,03 Mbit/s.

Pada penelitian [5] membahas tentang pembuatan sistem yang bertujuan untuk mengidentifikasi alokasi frekuensi kosong yang dapat dimanfaatkan. Perangkat *Software Defined Radio* (SDR) berbasis *Raspberry multiband* yang dirancang telah direalisasikan sesuai pada frekuensi 88 sampai dengan 800 MHz menggunakan *raspberry* sehingga *channel* televisi dan radio yang berada pada range tersebut dapat dideteksi perangkat *multiband* dimana *user interface* pada perangkat *multiband* yang dirancang mudah untuk digunakan karena tampilan *software defined radio* (SDR) telah didukung *touch screen* sehingga pengguna lebih mudah mengoperasikan perangkat. Karena itu, dari hasil pengujian frekuensi televisi lebih sulit diterima disebabkan memiliki dua pengiriman suara dan gambar terlihat dari masukan penguatan dB yaitu 0 dB, 9 dB dan 14 dB yang membuat diagram garis lebih kecil dari penguatan dipengaruhi audio yang diterima tidak konstan.

Pada penelitian [6] membahas bagaimana menggunakan LabVIEW dan *Universal Software Radio Peripheral* untuk membangun *Community Radio* dengan

menggunakan radio yang dikontrol oleh USRP. Sistem yang dibangun dalam penelitian ini membuat *transmitter* untuk mengirim *audio* dan penerima pada sinyal radio FM. Pada percobaan pertama, audio musik dikirimkan melalui *transmitter* yang telah dibangun, kemudian frekuensi yang digunakan pada radio FM ditentukan untuk ditransmisikan dan hasil dari siaran radio dapat dilihat pada penerima. Pada percobaan kedua, pada sisi penerima, ditentukan IQ *rate*, frekuensi yang sama dengan *transmitter*, dan memeriksa saluran penerima. Setelah VI dijalankan, audio musik yang dimainkan oleh sistem *transmitter* dapat didengar, jika audio yang dihasilkan bising maka perlu disesuaikan pada IQ *rate*. Penelitian ini menunjukkan bahwa USRP dapat mengembangkan *transmitter* dan *receiver* dengan biaya rendah dan fleksibel.

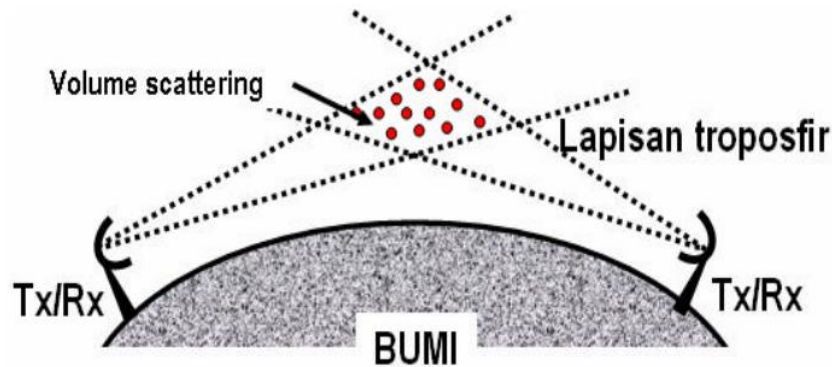
Pada penelitian [7] membahas tentang implementasi transmisi/penerimaan data menggunakan OQPSK. Dengan diagram *block program* grafis secara kumulatif untuk memberikan *output* akhir. Fungsi yang diberikan *diagram block* secara bersamaan seperti, parameter sistem, *interfacing* dengan perangkat USRP, antrian data, dan demodulasi data. Penerimaan dilakukan mulai dengan deteksi *frame* awal dan kemudian melakukan berbagai operasi seperti koreksi *offset frequency*, *filtering cocok*, *decimasi*, *sinkronisasi*, *demapping*. Kemudian menghitung daya sinyal dan *noise* dan jumlah paket yang diterima. Desain dan implementasi transmisi/penerimaan data melibatkan berbagai tahap, implementasi seperti ini mempermudah konsep di balik skema modulasi *Offset Quadrature Phase Shift Keying* (OQPSK), dan menunjukkan panel depan untuk transmisi OQPSK dan penerimaan masing-masing. Skema OQPSK menawarkan tingkat perubahan *fase* instan yang lebih rendah. Perubahan *fase* maksimum yang dapat terjadi dalam OQPSK adalah  $\pi/2$ . Hal ini dapat diamati dalam diagram konstelasi di mana garis transisi tidak pernah melewati asal. Fitur ini dalam OQPSK terbukti menguntungkan dalam banyak aplikasi yang menghindari perubahan tiba-tiba dalam *fase* sinyal. Transisi *fase* dalam skema OQPSK menghindari *crossing nol*. Ini membantu dalam penggunaan penguat *non-linear* tanpa melebar spektrum daripada penggunaan penguat linear yang kurang efisien. Visualisasi simulasi skema modulasi seperti ini menghasilkan antarmuka perangkat lunak yang ramah pengguna, kenyamanan, dan skalabilitas yang baik.

Pada penelitian [8] Membahas mengenai penerapan teknik keamanan untuk mengacak lokasi *subcarrier* dengan sinkronisasi algoritma RSA pada sistem komunikasi nirkabel OFDM. Keandalan sistem yang dirancang diuji dalam komunikasi real-time menggunakan perangkat USRP dan perangkat lunak LabVIEW, dengan data *input* berupa *file* teks (.txt). Data teks diubah menjadi bentuk biner sebelum dimodulasi, dan modulasi yang digunakan adalah modulasi QAM. Implementasi teknik keamanan pengacakan subcarrier dengan sinkronisasi algoritma RSA pada sistem OFDM menggunakan perangkat NI-USRP 2920 menunjukkan bahwa teknik keamanan ini tidak mengurangi kinerja sistem OFDM, bahkan dapat meningkatkan kualitas diagram konstelasi dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh adanya sinkronisasi algoritma RSA antara pemancar dan penerima. Berdasarkan hasil percobaan pada jarak pengujian 1 meter, 2 meter, dan 5 meter, dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan sangat efektif pada jarak pengujian 1 meter, di mana berhasil mengurangi tingkat kesalahan bit (*bit error*) dari 19,04% menjadi 0%. Pada modulasi 32-QAM, tingkat kesalahan bit menurun dari 28,57% menjadi 4,76% pada modulasi 64-QAM.

## 2.2 Sitem Komunikasi Radio UHF

Komunikasi radio UHF (*Ultra High Frequency*) merupakan gelombang elektromagnetik yang berdasarkan rekomendasi ITU memiliki frekuensi kerja yaitu 300 hingga 3000 MHz. Panjang gelombang berkisar dari satu sampai 1 desimeter atau sekitar 10 cm sampai 1 meter, sehingga UHF juga dikenal sebagai gelombang desimeter [9]. Komunikasi radio UHF jenis radio yang paling umum digunakan oleh pemerintah, militer, kepolisian, organisasi maritim, penanggulangan darurat, dan entitas yang lainnya yang beroperasi di lingkungan di mana jaringan komunikasi biasa mungkin tidak konsisten atau tidak berfungsi dengan baik [9]. Proses penghamburan (*scattering*) oleh lapisan troposfer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dua antenna pengarah diatur dengan teliti agar sinyal pancaran keduanya saling bertemu di lapisan troposfer. Mayoritas energi sinyal tersebut merambat secara langsung ke luar angkasa. Namun, melalui proses yang kompleks

dan sulit dipahami, sebagian energi juga tersebar ke arah depan yang diinginkan [10].



**Gambar 2.1 Propagasi Gelombang Radio UHF pada lapisan *troposfer* [10].**

### 2.2.1 *Fading*

Secara umum, fenomena atau gejala ini terkait dengan mekanisme propagasi yang melibatkan refraksi, refleksi, difraksi, hamburan, dan redaman gelombang radio. Akibatnya, akan terjadi perubahan fase, polarisasi, dan/atau level sinyal terima dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, *fading* adalah variasi sinyal terima yang terjadi pada setiap saat sebagai fungsi dari fase, polarisasi, atau level sinyal terima [11].

### 2.2.2 Frekuensi Kerja Gelombang Radio

Gelombang radio termasuk dalam kategori radiasi elektromagnetik, dengan panjang gelombang yang jauh lebih besar dibandingkan dengan cahaya yang bisa kita lihat secara langsung, pada Tabel 2.1 menunjukkan frekuensi kerja gelombang radio. Manusia secara luas memanfaatkan gelombang radio dalam komunikasi [12].

**Tabel 2.1 Pengelompokan Frekuensi Gelombang Radio [12].**

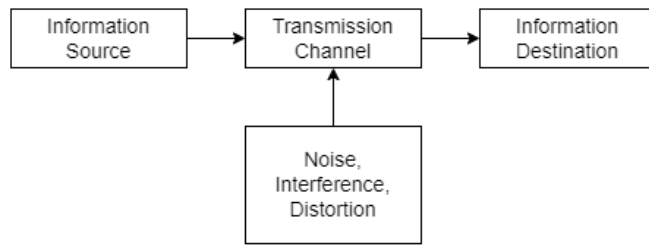
<i>Band</i>	<i>Frequency range</i>	<i>Wavelength range</i>
<i>Extremely Low Frequency (ELF)</i>	<3 KHz	>100 km
<i>Very Low Frequency (VLF)</i>	3 to 30 KHz	10 to 100 km
<i>Low Frequency (LF)</i>	30 to 300 KHz	1 m to 10 km

<i>Band</i>	<i>Frequency range</i>	<i>Wavelength range</i>
<i>Medium Frequency (MF)</i>	300 KHz to 3 MHz	100 m to 1 km
<i>High Frequency (HF)</i>	3 to 30 MHz	10 to 100 m
<i>Very High Frequency (VHF)</i>	30 to 300 MHz	1 to 10 m
<i>Ultra High Frequency (UHF)</i>	300 MHz to 3 GHz	10 cm to 1 m
<i>Super High Frequency (SHF)</i>	3 to 30 GHz	1 to 1 cm
<i>Extremely High Frequency (EHF)</i>	30 to 300 GHz	1 mm to 1 cm

Gelombang *Ultra High Frequency (UHF)* merupakan bentuk gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang berkisar antara 300 MHz hingga 3 GHz. Panjang gelombang pada rentang ini berkisar antara satu desimeter hingga satu meter, yang sebanding dengan ukuran 10 cm hingga 1 meter. Oleh karena itu, UHF sering disebut sebagai gelombang desimeter [9].

### **2.3 Sistem Komunikasi Digital**

Sistem komunikasi digital adalah suatu proses dimana informasi dikodekan menjadi bentuk digital (misalnya bit 0 dan 1), dikirimkan melalui jaringan atau saluran, dan di-dekodekan oleh penerima untuk memahami pesan tersebut. Hal ini membutuhkan penggunaan teknologi digital untuk efisien mengirim dan menerima data dalam berbagai bentuk seperti teks, gambar, suara, dan video. Sistem komunikasi didesain untuk mengirimkan informasi, dalam bentuk analog atau digital, antara sumber dan tujuan. Tugas inti dari setiap sistem komunikasi adalah menghasilkan informasi dari sumber ke tujuan, dihasilkan di sumber setelah melewati jalur transmisi. Jalur transmisi merupakan medium fisik antara sumber dan tujuan, dan mencakup berbagai sumber kebisingan, gangguan, serta distorsi. Efek-efek ini harus dipertimbangkan dan diatasi agar komunikasi antara sumber dan tujuan berlangsung secara efisien. Gambar 2.2 menggambarkan elemen utama dalam setiap sistem komunikasi [13].

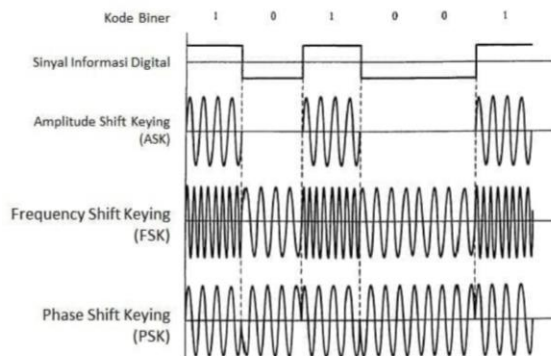


**Gambar 2.2 Dasar Sistem Komunikasi [13].**

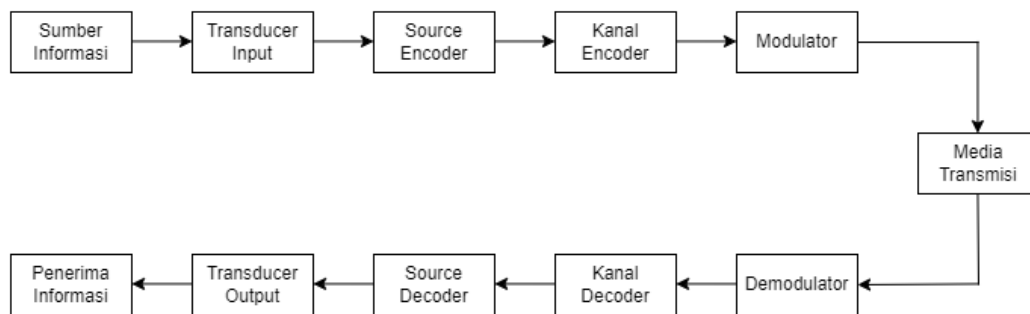
### 2.3.1 Jenis-Jenis Modulasi Digital

*Amplitude Shift Keying (ASK)*, *Frequency Shift Keying (FSK)*, dan *Phase Shift Keying (PSK)* adalah skema modulasi digital yang langsung terkait dengan sinyal analog. Dalam sistem ini, versi digital dari informasi analog diteruskan secara berurutan sebagai simbol dan kemudian dikonversi kembali ke analog di penerima. Dalam sistem saat ini, hampir semua sistem komunikasi adalah sistem yang sebagian atau seluruhnya digital dalam skema pengolahan sinyal dan modulasi yang digunakan.

ASK adalah skema modulasi digital yang mengubah amplitudo sinyal pembawa dengan mengikuti simbol digital yang akan dikirim. FSK adalah skema modulasi digital yang mengubah frekuensi sinyal pembawa dengan mengikuti simbol digital yang akan dikirim. PSK adalah skema modulasi digital yang mengubah *fase* sinyal pembawa dengan mengikuti simbol digital yang akan dikirim, klasifikasi sinyal modulasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3 Klasifikasi Modulasi ASK, FSK, dan PSK [14].**



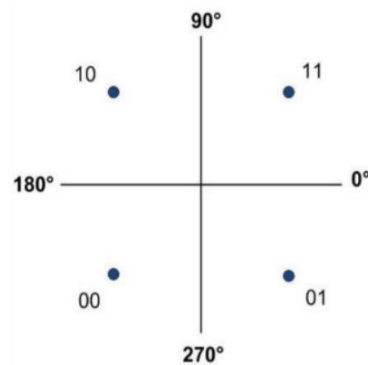
**Gambar 2.4** Komponen Sistem Komunikasi Digital [13].

Pada Gambar 2.4 digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang dapat diteruskan melalui medium transmisi. Pada penerima, sinyal digital ini kemudian dikonversi kembali menjadi sinyal analog seperti asalnya. Ini memungkinkan untuk mengirim informasi digital dengan menggunakan sinyal analog yang dapat diterima oleh peralatan yang hanya dapat menerima sinyal analog [13].

Untuk mentransmisikan data digital dengan kecepatan tinggi, pilihan yang lebih efisien adalah menggunakan sistem modulasi PSK. Terdapat dua *jenis modulasi PSK yang umum digunakan, yaitu BPSK (Binary Phase Shift Keying) dan QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)*. Modulasi QPSK merupakan teknik modulasi digital yang mengembangkan modulasi PSK dengan memanfaatkan perubahan fase pada sinyal pembawa. Dengan menerapkan teknik modulasi QPSK, dua bit dapat diwakili oleh setiap simbol, dengan tujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan bit (BER). QPSK memiliki empat bentuk sinyal termodulasi yang berbeda. Pada modulasi QPSK, sinyal pembawa dapat memiliki empat kemungkinan pasangan bit [15].

### 2.3.2 Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)* adalah sinyal pembawa yang dapat menggambarkan empat kondisi fase yang berbeda untuk mewakili empat simbol yang berbeda. Satu simbol QPSK terdiri dari dua bit, yaitu "00", "01", "10", dan "11". Setiap pasangan dua bit ini akan diwakili oleh perubahan fase sebesar 90 derajat, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.5 [16].



**Gambar 2.5 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK [15].**

Pada modulasi QPSK besarnya  $m = 2$  ( $2^m = 4$ ) sehingga *bandwidth* yang dibutuhkan untuk perubahan fasa tiap detik, ditunjukkan pada Persamaan (2.1), sedangkan *probability of bit error* (BER) dari modulasi QPSK dapat dirumuskan pada persamaan (2.2) [16].

$$BW_{QPSK} = \left(\frac{R_t}{2}\right) \cdot (1 + \alpha) \quad (2.1)$$

Dimana:  $BW_{QPSK}$  = bandwidth yang dibutuhkan untuk perubahan fasa tiap detik  
 $\alpha$  (alpha) = *roll-off factor* yang menyatakan unjuk kerja sebuah modulator bandwidth frekuensi berlebihnya

$R_t$  = kecepatan transmisi (bit/s)

$$P_B(e) = Q\left[\frac{\sqrt{2E_b}}{N_o}\right] \quad (2.2)$$

Dimana:  $Q$  = estimasi seberapa besar peluang terjadinya kesalahan bit dalam transmisi sinyal.

$P_B(e)$  (probability of bit error)

$E_b$  = Energi per bit (W/bit)

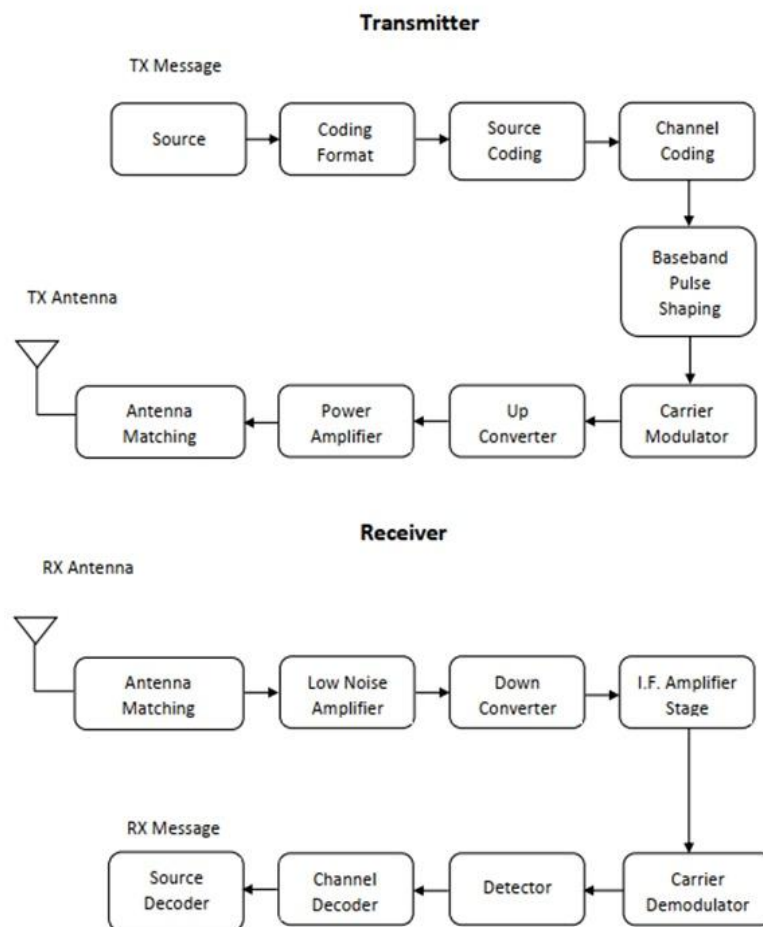
$N_o$  = rapat daya derau sistem (W/Hz)

### 2.3.3 Elemen Dasar Sistem Komunikasi Digital

Sistem komunikasi digital adalah cara untuk mengirimkan bit dengan cara yang paling efisien dan cepat kepada dua titik yang jauh, menggunakan media komunikasi. Selain itu, bit asli harus dapat ditemukan kembali tanpa adanya *error bit* atau dengan jumlah *error bit* yang sekecil mungkin. Oleh karena itu, jika ingin



mengirimkan sinyal secara digital, perlu mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital, terlihat pada Gambar 2.6 harus memastikan bahwa dalam proses konversi tidak ada ketidakakuratan atau setidaknya tidak melebihi batas, sehingga kualitas sinyal yang dihasilkan di penerima menjadi baik. Modulasi dan demodulasi digital mentranslasikan sinyal dari satu *band frequency (baseband)* ke *band frequency* tinggi lainnya, *Intermediate Frequency (IF)*, atau bahkan ke lebar pita transmisi yang disebut lebar pita *Radio Frequency (RF)*. Sistem komunikasi digital adalah sistem pengolahan informasi yang bertujuan untuk mengirimkan informasi dari pengguna transmisi dan memastikan bahwa informasi tersebut dikirim tanpa distorsi dan *error* ke tujuan yang ditentukan. Namun, *error* tidak terhindarkan dan dengan pengkodean saluran, sistem memiliki kemampuan untuk memperbaiki sebagian besar *error* dan juga melindungi informasi terhadap distorsi yang terutama disebabkan oleh *noise* saluran, *interferensi*, atau *fading* [17].



**Gambar 2.6 Blok Diagram Pada Sistem Komunikasi Nirkabel [18].**

### **2.3.3.1 Transmitter**

Transmitter memiliki peran untuk mengkonversi sinyal pesan yang berasal dari sumber informasi menjadi format yang tepat agar dapat dikirim melalui saluran atau media yang digunakan, pada Gambar 2.6. Misalnya, suara manusia diubah menjadi sinyal elektrik menggunakan *transduser* (mikrofon) [17].

### **2.3.3.2 Channel**

Fungsi dari *channel* adalah untuk menghantarkan sinyal pesan kepada *receiver*. Namun, ketika sinyal tersebut melewati saluran transmisi, sinyal bisa mengalami distorsi akibat adanya ketidaksempurnaan pada saluran tersebut. Kemudian udara ruang bebas yang melewati partikel-partikel kecil seperti debu dapat mengurangi sinyal [17].

### **2.3.3.3 Receiver**

Penerima memiliki peran penting dalam mengolah sinyal yang diterima agar dapat menghasilkan estimasi atau perkiraan dari sinyal pesan asli yang ditujukan kepada pengguna informasi. Penerima dalam sistem komunikasi pada dasarnya memiliki unit yang sama dengan pemancar, namun dengan tujuan mengembalikan transformasi pemancar, mendeteksi dan mengembalikan aliran bit asli, terlihat pada Gambar 2.6. Selain itu, fitur dan unit tambahan juga diimplementasikan untuk memperbaiki kesalahan bit yang disebabkan oleh kanal radio [17].

## **2.3.4 Sistem Kinerja Parameter**

Pada indikator kinerja terdapat diantaranya *Bit error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Character Error Rate* (CER) yang bertujuan untuk perhitungan dari performansi yang berhubungan dengan sistem komunikasi.

### **2.3.4.1 Signal to Noise Ratio (SNR)**

*Signal to Noise Ratio* (SNR) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya derau (*noise*) dalam sistem komunikasi. SNR secara luas digunakan sebagai ukuran standar untuk mengukur kualitas sinyal. Dalam media komunikasi, sinyal informasi rentan terhadap

gangguan oleh derau, yang dapat menyebabkan kerusakan pada sinyal tersebut. Gangguan ini menyebabkan penurunan kualitas sinyal, yang dapat diukur dengan menggunakan nilai SNR yang diungkapkan dalam satuan desibel (dB), seperti pada persamaan (2.3) [19].

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Signal Power}} \text{ (dB)} \quad (2.3)$$

#### 2.3.4.2 Bit error Rate (BER)

Seperti namanya, tingkat kesalahan bit didefinisikan sebagai tingkat di mana kesalahan terjadi dalam sistem transmisi. Ini dapat diterjemahkan secara langsung ke dalam jumlah kesalahan yang terjadi dalam rangkaian sejumlah bit tertentu. Definisi dari tingkat kesalahan bit dapat diterjemahkan pada Persamaan (2.4) [19].

$$\text{BER} = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah Bit Yang Dikirim}} \quad (2.4)$$

Jika media antara pengirim dan penerima baik dan rasio sinyal ke *noise* tinggi, maka tingkat kesalahan bit akan sangat kecil - mungkin tidak signifikan dan tidak memiliki efek yang terlihat pada keseluruhan sistem. Namun, jika *noise* dapat di deteksi, maka ada kemungkinan bahwa tingkat kesalahan bit perlu dipertimbangkan [19].

#### 2.3.4.3 Character Error Rate (CER)

*Character Error Rate* merupakan parameter pengujian yang dipakai untuk mengukur tingkat akurasi data hasil proses pemrosesan sinyal dari pesan yang telah disisipkan pada karakter, dengan menghitung *presentase* perbandingan jumlah karakter yang salah satu *error*, secara matematis dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.5) [19].

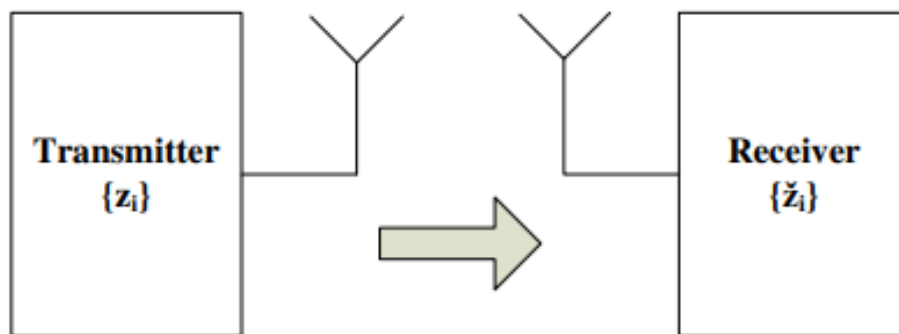
$$\text{CER} = \frac{\text{Jumlah Karakter Yang Salah}}{\text{Jumlah Karakter Keseluruhan}} \quad (2.5)$$

### 2.3.5 Sistem Komunikasi Radio Digital

Sistem komunikasi radio terdiri dari sejumlah subsistem komunikasi yang memberikan kemampuan untuk melakukan komunikasi dengan dunia luar. Sistem ini mengirimkan berbagai jenis sinyal melalui perangkat radio. Jenis sistem komunikasi radio yang digunakan bervariasi tergantung pada teknologi, standar, peraturan, alokasi spektrum radio, kebutuhan pengguna, jenis layanan, dan investasi yang dilakukan. Peralatan yang terlibat dalam sistem komunikasi meliputi pemancar dan penerima. Pemancar dan penerima dilengkapi dengan antena dan peralatan terminal yang sesuai, seperti mikrofon pada pemancar dan pengeras suara pada penerima dalam kasus sistem komunikasi suara. Konsumsi daya di stasiun pemancar berbeda-beda tergantung pada jarak komunikasi dan kondisi transmisi. Sementara itu, daya yang diterima di stasiun penerima umumnya hanya sebagian kecil dari daya keluaran pemancar karena komunikasi bergantung pada kemampuan menerima informasi yang ditransmisikan [17].

### 2.4 *Single Input Single Output (SISO)*

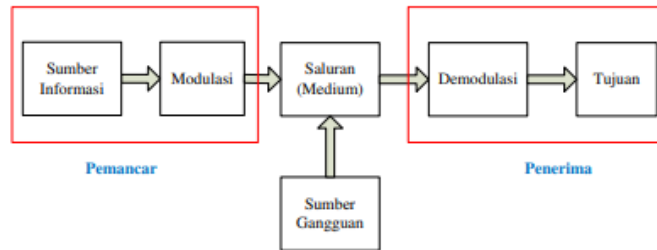
Sistem komunikasi *Single Input Single Output (SISO)* adalah bentuk komunikasi yang paling sederhana. Pada sistem ini, terdapat satu antena di sisi pengirim dan satu antena di sisi penerima, seperti terlihat dalam Gambar 2.7.



**Gambar 2.7 Sistem Komunikasi SISO [20].**

Pada sistem komunikasi, data yang akan dikirimkan perlu mengalami proses modulasi di sisi pengirim sebelum dikirimkan. Kemudian, data yang telah sampai di sisi penerima akan mengalami proses demodulasi agar dapat dikembalikan

menjadi data yang sama dengan yang telah dikirimkan. Ini merupakan blok diagram dasar dari sistem komunikasi ditunjukkan pada Gambar 2.8 [20].



**Gambar 2. 8 Blok Diagram Sistem Komunikasi**

#### **2.4.1 Antenna Monopole**

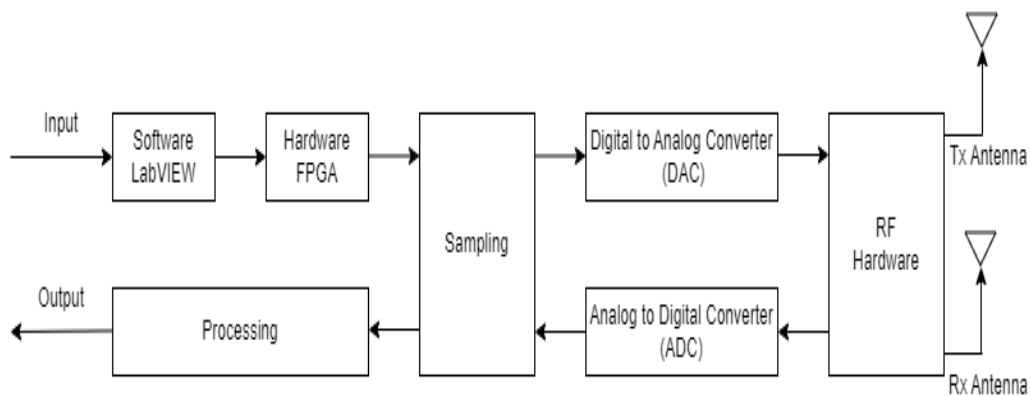
*Antena monopole* adalah jenis antena yang terdiri dari satu elemen pengirim atau penerima yang ditempatkan di atas permukaan konduktor yang luas, seperti tanah atau bidang logam. Antena ini umumnya digunakan dalam aplikasi komunikasi nirkabel, pemancar radio, dan berbagai sistem komunikasi lainnya. Ketika digunakan sebagai antena penerima, *antenna monopole* akan menerima medan elektromagnetik dari lingkungannya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian diolah oleh peralatan penerima. Keuntungan dari *antenna monopole* meliputi kemudahan instalasi dan desain yang relatif sederhana, seperti pada gambar 2.9 [21].



**Gambar 2.9 Instalasi Antenna Monopole [21].**

## 2.5 *Software Defined Radio*

*Software Defined Radio* (SDR) merupakan dasar arsitektur dalam teori komunikasi modern dan pengolahan sinyal digital. SDR telah sukses digunakan dalam komunikasi nirkabel dengan menggunakan perangkat keras yang terhubung ke perangkat lunak. Seperti platform yang canggih, perangkat SDR dapat dengan mudah disesuaikan dengan perangkat lunak terbaru saat standar komunikasi nirkabel baru muncul, sehingga mempercepat proses pengembangan produk. Dengan perkembangan yang pesat dalam komunikasi nirkabel, layanan dapat terus ditingkatkan sesuai dengan standar komunikasi yang berkembang, dan tidak diperlukan lagi penyesuaian sistem komunikasi tradisional [20].



**Gambar 2.10 Blok Diagram SDR [22].**

Selanjutnya, dalam memenuhi permintaan spektrum nirkabel dari operator telekomunikasi, sistem yang ada harus meningkatkan efisiensi penggunaan bandwidth dan kemampuan dalam mengatasi gangguan. Teknologi SDR saat ini menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Penerapan teknologi SDR tidak hanya terbatas pada perangkat keras, tetapi juga melibatkan implementasi berbagai standar komunikasi. Dengan demikian, penggunaan teknologi SDR dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan modifikasi perangkat lunak tanpa perlu melakukan desain ulang perangkat keras, seperti pada Gambar 2.10. Sebagai platform perangkat keras serba guna, SDR memiliki kemampuan untuk dengan mudah memperbarui fungsi komunikasi nirkabel yang sudah ada dan secara penuh mendukung layanan multimedia [20].