

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nandkishor Joshi pada tahun 2019 yang berjudul “*Experimental Validation to Performance of SISO and Diversity Techniques on MIMO with C-700 Software Defined Radio Platform*”, Membahas pengembangan sistem *multiple-input-multiple-output* (MIMO) untuk meningkatkan kinerja sistem komunikasi nirkabel, dalam hal tingkat data, jangkauan jaringan, dan kapasitas dll. Dalam tulisan ini, penulis mengevaluasi kinerja sistem *single-input-single-output* (SISO) dan teknik gabungan diversifikasi, seperti sistem *single-input-multiple-output* (SIMO), sistem *multiple-input-single-output* (MISO), dan sistem MIMO dengan melakukan eksperimen *real-time* menggunakan platform *Software Defined Radio* (SDR) C-700. Secara khusus, diversifikasi transmit seperti, *Transmit Antenna Selection* (TAS), *Maximum Ratio Transmission* (MRT) telah digunakan untuk mengevaluasi kinerja *bit error rate* (BER) dari sistem MISO, dan diversifikasi terima seperti, *selection combining* (SC), *maximum ratio combining* (MRC) telah digunakan untuk mengevaluasi kinerja BER dari sistem SIMO dan MIMO. Penulis telah menggunakan perangkat lunak MATLAB-2018b dengan C-700 SDR untuk menunjukkan kinerja BER dari sistem yang dipertimbangkan. Selanjutnya, penulis membandingkan BER dari sistem SISO dengan BER dari teknik diversifikasi (untuk semua konfigurasi MIMO). Telah terlihat bahwa dalam hasil eksperimen, perilaku hasil *real-time* sama dengan hasil analitis [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Agung Wicaksono pada tahun 2020 yang berjudul “*An HF Digital Communication System Based on Software-Defined Radio*”, membahas akan sistem komunikasi *High Frequency* (HF) menggunakan gelombang radio pada frekuensi dalam rentang 3-30 MHz yang dipropagasikan dalam bentuk *skywave* dengan bantuan ionosfer. Untuk aplikasi komunikasi

darurat, sistem komunikasi HF diharapkan dapat mengirimkan pesan teks dengan mengimplementasikan sistem komunikasi digital. Penelitian ini menyajikan desain sistem komunikasi digital HF pada *platform Software-Defined Radio* (SDR) untuk implementasi yang mudah. Untuk mencapai kinerja tingkat *error* yang baik, protokol AX.25 digunakan pada lapisan tautan data. Kinerja sistem dievaluasi dengan mengukur *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER), *Character Error Rate* (CER), dan *Frame Error Rate* (FER) dengan dan tanpa protokol AX.25. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem telah berhasil diimplementasikan pada *platform* USRP dengan LabVIEW sebagai antarmuka pengguna, sementara penggunaan protokol AX.25 menghasilkan tingkat *error* nol [5].

Pada penelitian M. Srilatha yang dilakukan tahun 2021 dengan judul “*Community Radio Using USRP 2920*”, membahas tentang cara menggunakan LabVIEW dan *Universal Software Radio Peripheral* untuk membangun Community Radio menggunakan radio yang diatur oleh USRP. Sistem yang dibangun pada penelitian ini membangun *Transmitter* untuk menyiarkan audio dan penerima pada sinyal radio FM. Pada percobaan pertama mengirim audio musik pada *Transmitter* yang telah dibangun, lalu dialokasi frekuensi yang digunakan pada radio FM untuk ditransmisikan dan hasil dari siaran radio dapat dilihat pada penerima. Pada percobaan kedua di sisi penerima yaitu mengatur *IQ Rate*, frekuensi yang sama dengan *transmitter*, dan memeriksa untuk saluran penerima. Setelah VI (*Virtual Instruments*) dijalankan maka dapat didengar audio musik yang dimainkan oleh sistem *transmitter*, jika audio yang dihasilkan bising maka perlu disesuaikan pada *IQ Rate*. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa USRP dapat mengembangkan transmitter dan penerima yang biaya rendah dan fleksibel menggunakan perangkat keras yang biaya rendah [6].

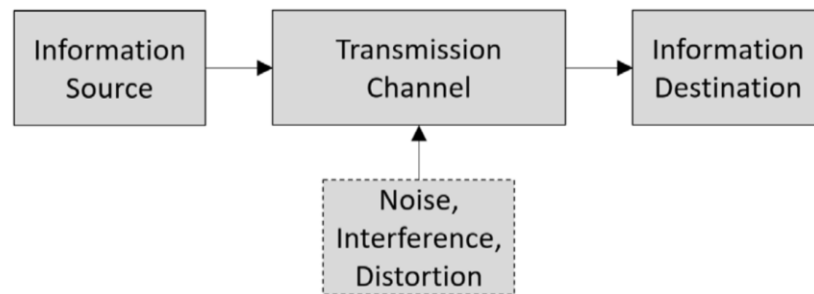
Pada penelitian yang dilakukan oleh Kalpana Devi Perumal pada tahun 2022 yang berjudul “*Experimental Analysis Using USRP for Novel Wavelet-Based Spectrum Sensing for 2.2 GHZ Band Communication Using LabVIEW*”, membahas akan analisis metode pemantauan spektrum berbasis wavelet dan membuat keputusan spektrum secara efektif. Teknik *sensing* yang diusulkan untuk

mengimplementasikan sistem pengelolaan spektrum untuk proses pemantauan spektrum pada frekuensi 50 MHz hingga 2,2 GHz menggunakan USRP. Daya puncak diamati di sekitar rentang frekuensi. Metode deteksi spektrum teridentifikasi dalam lingkungan *noise* AWGN dan tidak tergantung pada karakteristik kanal dan *Transmitter*. Metode *cognitive radio* yang diusulkan digunakan untuk pemanfaatan spektrum yang efisien bahkan di daerah SNR rendah. Pengelolaan spektrum dinamis digunakan untuk mendeteksi spektrum yang memungkinkan alokasi kanal yang efisien ke jumlah pengguna yang semakin banyak. Analisis kinerja terbukti untuk berbagai nilai SNR dengan *false alarm* yang ditingkatkan dan *throughput* dalam sistem *cognitive radio* pengelolaan spektrum pada *band* frekuensi komunikasi yang diberikan [7].

Penelitian Saggurthi Sathvik Pada Tahun 2022 yang berjudul “***Design, Implementation and Analysis of data transmission and reception using OQPSK with LabVIEW and NI USRP***”, membahas komunikasi digital yang diimplementasikan menggunakan modulasi OQPSK. Mengimplementasikan pengiriman dan penerimaan paket informasi pada beberapa parameter. Paket yang dibuat akan didemonstrasikan untuk mengirim dan menerima melalui VI (*Virtual Instrument*) pada LabVIEW dan NI USRP, dengan parameter yang dibutuhkan untuk transmisi dan penerimaan, seperti menentukan jumlah sampel, panjang antrian, dan paket yang akan dikirim. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat dari skema OQPSK yang menawarkan perubahan fase instan yang lebih rendah, dengan perubahan fase maksimum sebesar  $\pi/2$ . Hal ini dapat diamati pada diagram konstelasi, di mana garis transisi tidak melewati titik origin. Karakteristik ini dari OQPSK berguna dalam aplikasi yang memerlukan perubahan fase sinyal secara halus. Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa transisi fase dalam skema OQPSK menghindari *crossing nol*. Hal ini membantu dalam penggunaan *amplifier* nonlinear tanpa memperluas spektrum, sehingga lebih efisien daripada menggunakan *amplifier* linear. Visualisasi seperti ini dari simulasi skema modulasi menghasilkan antarmuka perangkat lunak yang mudah digunakan, praktis, dan skalabilitas yang baik [8].

## 2.2 SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL

Sistem komunikasi dirancang untuk mentransfer informasi dengan pesan, baik analog maupun digital, yang memfasilitasi transfer data antara sumber dan tujuan. Tugas utama dari setiap sistem komunikasi adalah mereproduksi informasi di tujuan yang cukup mewakili apa yang dihasilkan di sumber setelah melewati saluran transmisi. Saluran transmisi adalah media fisik antara sumber dan tujuan dan berisi berbagai sumber kebisingan, gangguan, dan distorsi. Efek ini perlu dipertimbangkan dan dihilangkan agar dapat berkomunikasi secara efektif antara sumber dan tujuan. Gambar 2.1 menggambarkan elemen utama dalam setiap sistem komunikasi, terlepas dari apakah pesan ditransmisikan sebagai pesan analog atau digital antara sumber informasi dan tujuan [9].



**Gambar 2. 1 Elemen Dari Contoh Sistem Komunikasi [9]**

Pesan analog adalah kuantitas fisik, seperti gelombang RF, yang biasanya terus menerus dan berubah seiring waktu. Pesan digital dapat dijelaskan sebagai sinyal listrik diskrit yang mewakili informasi yang ditransmisikan menggunakan set simbol yang telah ditentukan sebelumnya, seperti 1 atau 0 dalam kode biner [9].

### 2.2.1 SISTEM KOMUNIKASI RADIO DIGITAL

Sistem komunikasi radio digital dirancang untuk beroperasi melalui berbagai komponen elektronik yang digunakan untuk mengirim dan menerima pesan antara sumber dan tujuan. Untuk menerima informasi yang ditransmisikan, sistem komunikasi digital menggunakan komponen elektronik untuk mengambil sampel, mencantumkan, dan menggandakan sinyal RF analog yang diterima dan mengubahnya menjadi sinyal listrik diskrit. Sinyal listrik ini kemudian *decoding*

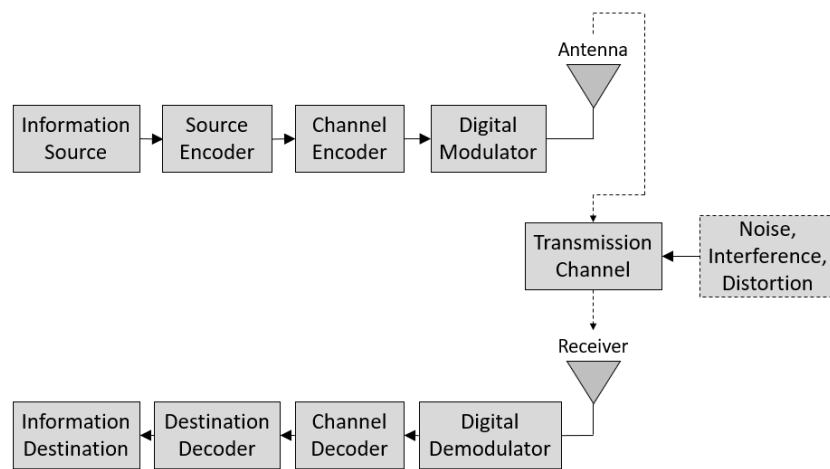
menjadi pesan digital yang dapat diproses dan dimanipulasi lebih lanjut. Untuk mentransfer informasi, proses ini dibalik, dan pesan digital diubah menjadi sinyal listrik yang *decoding* yang dibangun menjadi sinyal gelombang analog yang kemudian dipancarkan dari antena.

Selama transmisi radio digital, pesan yang dihasilkan oleh sumber diubah menjadi urutan digit biner melalui proses yang disebut *encoding* sumber. Urutan digit biner atau urutan informasi yang dihasilkan oleh *encoder* sumber kemudian disalurkan ke *encoder* saluran, yang menambahkan redundansi ke dalam urutan. Redundansi ini membantu penerima untuk mengatasi atau mengurangi efek kebisingan dan gangguan lain yang akan dialami di saluran transmisi. Redundansi tambahan ini termasuk teknik seperti *Forward Error Correction (FEC)*, *cyclical redundancy codes (CRC)*, *parity checks*, dan skema kode lain yang dirancang untuk mengatasi kerugian yang terjadi selama transmisi. Operasi kode sinyal ini dilakukan di sumber sebelum transmisi untuk meningkatkan keandalan, kejernihan, dan ketahanan transfer informasi, dan untuk meningkatkan kemungkinan bahwa pesan yang dimaksud berhasil diinterpretasikan di tujuan [9], [10].

Setelah melewati *encoder* saluran, urutan informasi kemudian diproses oleh modulator digital, yang menjadi antarmuka ke saluran komunikasi dengan memetakan data biner digital ke sinyal gelombang analog. Proses memetakan konten informasi digital ke sinyal analog untuk transmisi melalui saluran komunikasi disebut modulasi digital [10]. Skema modulasi yang dipilih untuk proses ini akan menentukan daya yang dibutuhkan untuk mentransfer jumlah tertentu informasi antara sumber dan tujuan, serta efisiensi spektrum pertukaran informasi pada tautan komunikasi [11]. Modulator menggunakan berbagai bentuk teknik modulasi data termasuk modulasi amplitudo, modulasi frekuensi, dan modulasi *phase shift keying (PSK)* untuk mengkode berbagai jumlah bit ke sinyal pembawa RF analog [12]. Setiap skema ini melibatkan manipulasi sinyal pembawa dengan cara yang telah ditentukan sehingga data digital dapat ditransfer melalui sinyal analog yang *encode* dan diterima dan diinterpretasikan di tujuan.

Setelah informasi telah dimodulasikan ke sinyal RF analog, maka siap untuk dipancarkan oleh antena menuju penerima tujuan. Media melalui mana pesan ditransmisikan ke penerima, yang disebut saluran transmisi atau komunikasi,

memperkenalkan berbagai sumber distorsi seperti kebisingan termal tambahan dari perangkat elektronik, gangguan atmosfer, dan gangguan alami dan buatan manusia lainnya [10]. Kontribusi dari sumber-sumber ini harus diperhitungkan agar dapat memastikan rasio *signal-to-noise ratio* (SNR) yang dapat diterima dari sinyal yang akan dideteksi oleh penerima. SNR adalah ukuran daya yang diungkapkan sebagai rasio sinyal yang menarik yang ditransmisikan relatif terhadap kebisingan yang ada di spektrum yang diterima [9]. Gambar 2.2 adalah diagram blok representasi proses transmisi dan penerimaan komunikasi digital antara sumber informasi dan tujuan.



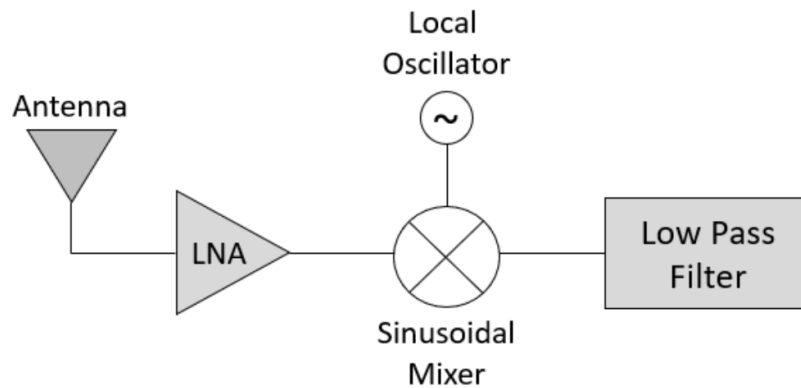
**Gambar 2. 2 Komponen Dalam Sistem Komunikasi Digital [9]**

Sistem komunikasi radio digital modern mengeksekusi proses yang dijelaskan dengan berbagai komponen elektronik yang mengubah sinyal analog yang diterima menjadi sinyal digital diskrit. Informasi digital ini kemudian *decode*, diproses, dan *encode* kembali sebelum ditransmisikan dalam bentuk analog. Dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dan sebaliknya, sistem komunikasi digital dapat lebih tepat dan tahan terhadap kebisingan dan gangguan saat mentransfer informasi dari sumber ke tujuan. Selain itu, sistem komunikasi digital juga dapat dengan mudah diprogram dan dikonfigurasi untuk mentransfer berbagai jenis informasi, seperti suara, gambar, dan data.

Proses penerimaan sinyal dimulai ketika gelombang elektromagnetik mengenai antena dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik ini biasanya lemah kemudian diproses oleh RF *front end* (RFFE), di mana kebisingan lingkungan dari

saluran transmisi di filter sebelum sinyal diperkuat sampai tingkat yang mampu diproses dan diinterpretasikan lebih lanjut. Proses ini terutama penting karena sinyal yang dihasilkan oleh RFFE berisi SNR maksimum sebelum diproses lebih lanjut oleh komponen radio lainnya [12]. Amplifikasi di dalam RFFE biasanya dilakukan oleh *low-noise amplifiers* (LNA), yang dirancang untuk memberikan tingkat tegangan tinggi sambil memberikan kebisingan termal minimal, yang memaksimalkan SNR sinyal lemah yang dideteksi oleh penerima [14]. LNA menghasilkan sinyal yang jauh lebih bersih daripada *amplifier* daya umum yang biasanya digunakan untuk aplikasi lain seperti meningkatkan tingkat daya sinyal sebelum transmisi.

Sinyal yang diperkuat keluar dari LNA kemudian dicampur dengan gelombang sinusoidal kompleks yang biasanya dihasilkan oleh osilator lokal di dalam RFFE. Proses pencampuran ini pada akhirnya menghasilkan sinyal lain yang mempertahankan informasi detail dari gelombang asli tetapi dialihkan ke frekuensi pembawa yang lebih rendah [13]. Tergantung pada bagaimana sistem radio dirancang, sinyal frekuensi yang lebih rendah yang telah dicampur ke *intermediate frequency* (IF) atau ke frekuensi dasar. Sinyal dasar dapat dijelaskan sebagai sinyal di mana frekuensi pembawa terletak dekat dengan nol Hertz (Hz) [14]. Sinyal IF ada pada frekuensi yang telah ditentukan sedikit di atas dasar, biasanya sekitar 70 atau 1200 MHz, tetapi berada di bawah frekuensi pembawa yang diterima sebelum pencampuran [14]. Sinyal yang menarik kemudian dilewati oleh *filter low-pass* sebelum diproses lebih lanjut untuk menghilangkan citra harmonik yang dibuat selama proses pencampuran. Gambar 2.3 adalah ilustrasi diagram blok komponen yang mengeskan, memperkuat, dan menurunkan sinyal yang diterima, ke dasar atau IF, dan menyaringnya sebelum diproses lebih lanjut oleh sistem radio.



**Gambar 2. 3 Diagram Amplifikasi LNA, Pencampuran, dan Translasi Frekuensi [9].**

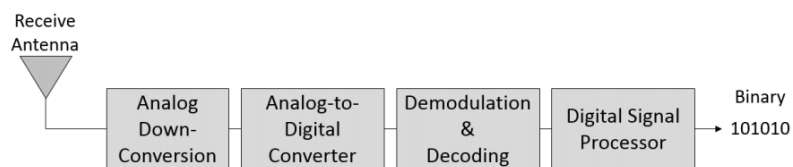
Setelah sinyal telah disaring dengan *filter low-pass*, sinyal tersebut diberikan ke *converter analog-to-digital* (ADC), juga disebut sebagai digitizer, yang mengubah sinyal analog waktu terus-menerus menjadi sinyal digital waktu diskrit melalui *sampling* dan kuantisasi [15], [16]. Nilai yang dilakukan *sampling* selama digitasi dibandingkan dengan batas kuantisasi yang dikenal, menghasilkan perkiraan bit digital dalam kata-kata yang mewakili gelombang analog yang telah ditangkap [18]. Representasi digital dari sinyal analog setelah *sampling* mempertahankan parameter kritis yang mendefinisikan gelombang asli [12]. Namun, beberapa informasi sinyal hilang selama proses ini karena presisi yang terbatas dan keterbatasan fisik lain dari perangkat keras yang digunakan untuk melakukan digitasi [12].

Proses yang berlawanan dengan modulasi digital disebut demodulasi dan melibatkan kegiatan yang memungkinkan informasi digital direkonstruksi atau dikembalikan dari sinyal analog yang dimodulasikan sebelumnya yang ditangkap dan diubah menjadi digital oleh penerima [10], [11]. Di tujuan, sebuah demodulator digital memproses sinyal RF yang diterima dan mengubah kembali gelombang ke dalam urutan informasi digital yang mewakili perkiraan dari transmisi data asli [11]. Sinyal digital keluaran dari ADC demodulasi ke dalam format yang dikenal, seperti biner, yang dapat diinterpretasikan dan diproses lebih lanjut oleh *digital signal processor* (DSP). DSP digunakan untuk mengekstrak informasi yang terkandung dalam sinyal listrik yang telah diubah menjadi digital dan mengeluarkan



aliran bit data yang sering diterjemahkan lagi menjadi paket data, suara, video, dll. [12]. Peran dan fungsi DSP yang tepat bervariasi antara sistem SDR tetapi sering termasuk kegiatan seperti mengenali *offset* yang diperkenalkan dalam *penacquisition* sinyal, mengompensasi efek frekuensi *Doppler*, pelacakan dan demodulasi sinyal yang diterima, dekoding dari berbagai redundansi atau pengkodean, dan memecahkan enkripsi yang diintegrasikan selama transmisi [12]. Dengan menggunakan pengetahuan sebelumnya tentang skema pengkodean dan redundansi yang terkandung dalam data yang diterima, urutan angka kemudian dilewati melalui *decoder* [11].

Proses penerimaan sinyal yang dilakukan oleh sistem radio digital modern melibatkan akuisisi gelombang sinyal analog, konversi ke sinyal listrik, dan demodulasi dan *decoding* sinyal ke aliran informasi digital. Gambar 2.4 menggambarkan proses penerimaan ini dan transformasi *analog-to-digital* (A/D) dalam bentuk diagram blok, di mana sinyal masuk melalui antena penerima, dikonversi kembali ke frekuensi yang lebih rendah, dikonversi menjadi sinyal digital, demodulasi, *decode*, dan diteruskan ke DSP untuk pemrosesan lebih lanjut.



**Gambar 2. 4 Komponen Penerima Pada Radio Digital [11]**

Setelah pesan yang ditransmisikan telah diterima, diterjemahkan, dan interpretasikan di tujuan, proses tersebut kemudian dapat dibalik untuk mengirim pesan sebagai tanggapan analog atau perintah ke sumber transmisi asli. Transmisi dari sistem komunikasi radio digital dilakukan melalui kata-kata dan simbol yang terdiri dari bit, dan tingkat data yang terkait diukur dan sering dijelaskan dalam *bit per second* (bps) [11]. *Bit error rate* (BER) dari sebuah link komunikasi adalah sebuah probabilitas yang menggambarkan jumlah bit informasi yang telah diterima dengan sukses tanpa kesalahan antara sumber dan tujuan [11]. BER meningkat saat SNR menurun, seperti saat sinyal yang menarik tercemar oleh keberadaan gangguan atau kebisingan. BER juga bervariasi sebagai fungsi SNR per bit atau

$E_b/N_0$ , yang adalah rasio *energy per bit* ( $E_b$ ) terhadap kebisingan per hertz lebar pita ( $N_0$ ) [16]. Dalam sistem komunikasi digital manapun, sebuah BER yang diwajibkan ditentukan, dan merupakan fungsi SNR dimodifikasi oleh tingkat bit transmisi, serta lebar pita efektif penerima seperti yang dijelaskan dalam Persamaan 2.1 [16]:

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR \times \frac{\text{bandwidth}}{\text{bit rate}} \quad (2.1)$$

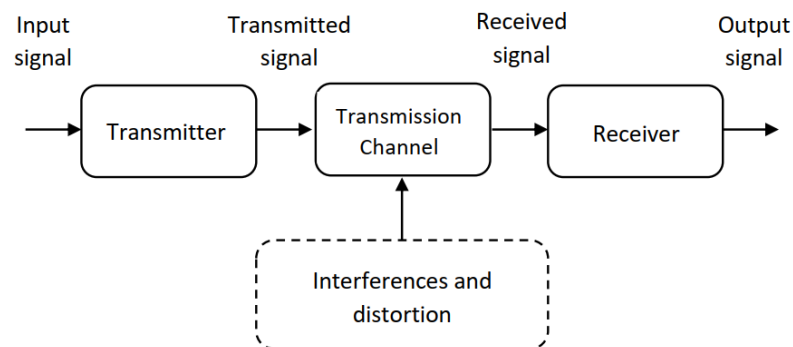
Ada beberapa arsitektur radio yang ada yang menyelesaikan proses komunikasi digital ini dengan cara yang berbeda tergantung pada metode dan komponen yang dipilih selama desain. Setiap desain arsitektur radio unik adalah kombinasi dari berbagai pilihan *hardware* dan *software* yang dibuat selama pengembangan yang mempengaruhi biaya, kompleksitas, performa, fleksibilitas, bentuk faktor, ukuran, berat, dan daya dari sistem komunikasi digital. Pada akhirnya, radio digital yang dirancang dengan baik dapat menjadi sistem komunikasi yang efektif, tetapi pertama-tama harus mengatasi keterbatasan fisik dasar yaitu *bandwidth* dan *noise*, yang tidak dapat dihindari dengan komponen elektronik dan dengan setiap transmisi informasi dengan cara elektrikal [9].

### 2.3 ELEMEN PADA 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. Proses konversi sinyal analog ke bentuk digital yang sesuai harus dilakukan sebelum sinyal disebut sebagai sinyal digital atau diproses ke dalam sistem komunikasi digital. Banyak sinyal yang berasal dari dunia fisik yang secara alami analog. Oleh karena itu, jika kita ingin mengirimkan sinyal ini secara digital, jelas bahwa kita perlu mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Selama melakukannya, kita harus memastikan bahwa dalam proses konversi tidak ada ketidakakuratan atau setidaknya tidak melebihi batas, sehingga kualitas sinyal yang dihasilkan di penerima menjadi memuaskan.

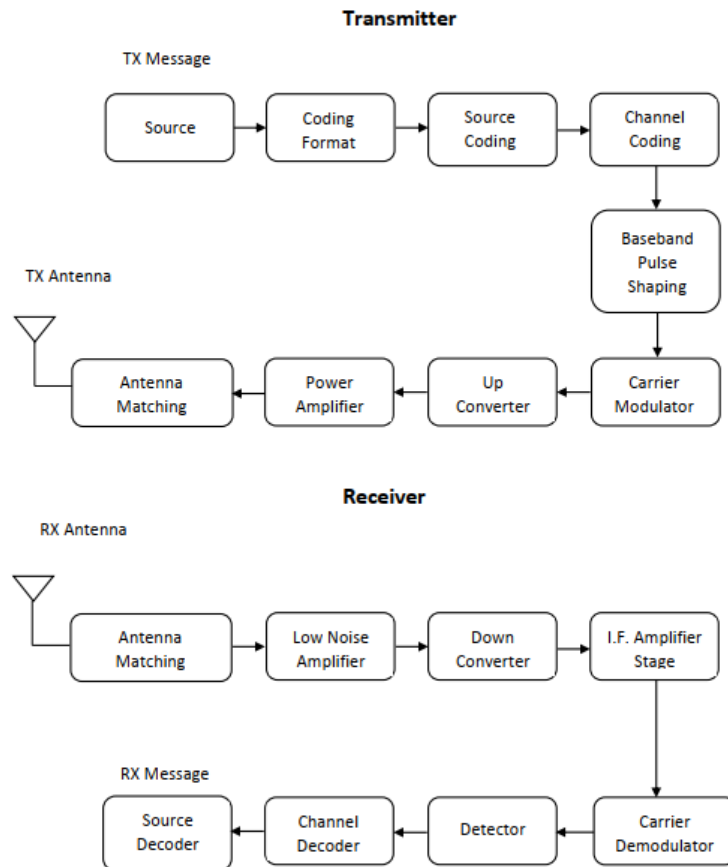
Pengambilan sampel sinyal dilakukan untuk mengkonversi sinyal dari analog ke digital. Kita menggunakan filter pembentuk pulsa untuk membentuk

sinyal untuk saluran. *intersymbol interference* (ISI) adalah batasan yang sering ditemukan ketika pulsa dikirim. Durasi sinyal dalam domain waktu meningkat ketika kita mengurangi lebar pita sinyal. Artinya, jika kita mentransmisikan dengan bitrate tinggi, pulsa tidak dibuat dengan benar dan lebar pita transmisi terbatas, ada kemungkinan terjadi interferensi pada pulsa dan akibatnya, menurunkan performa sistem komunikasi. Modulasi dan demodulasi digital mentranslasikan sinyal dari satu band frekuensi (*baseband*) ke band frekuensi 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 kita terhadap distorsi yang terutama disebabkan oleh *noise* saluran *additive*, interferensi atau *fading* [17].



**Gambar 2. 5 Dasar Sistem Komunikasi [17]**

Diasumsikan model saluran untuk komunikasi *wireless* melalui udara dan desainnya tergantung pada karakteristik saluran fisik.



**Gambar 2. 6 Blok Diagram Pada Sistem Komunikasi Nirkabel [17]**

### 2.3.1 Transmitter

Memulai dengan desain pemancar, blok pertama dalam sistem adalah sumber sinyal atau pesan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sinyal dalam konteks kami adalah representasi elektrik dari manifestasi fisik. Misalnya, suara manusia diubah menjadi sinyal elektrik menggunakan transduser (mikrofon). Untuk merancang sistem komunikasi, kami harus mempertimbangkan fitur sinyal keluaran elektrik sebagai yang penting. Fitur-fitur tersebut termasuk lebar pita, kekuatan, dan karakteristik statistik, yang merupakan konstanta yang tidak berubah dengan waktu [17]. Jika sinyal bersifat analog, modul berikutnya dianggap sebagai pengambilan sampel, kuantisasi, dan kode yang terkait untuk format representasi yang lebih baik. Namun, jika itu adalah sinyal digital, maka modul ini hanya memformat sinyal agar lebih mudah dikirim. Selain itu, modul ini adalah unit pra-

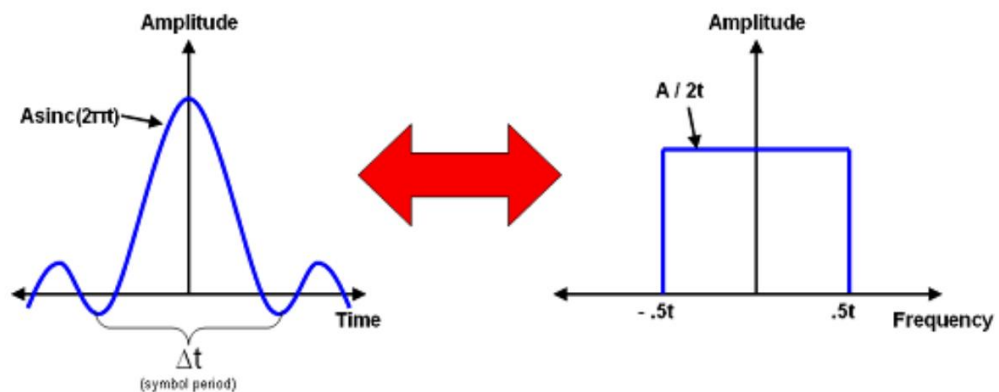
pemrosesan yang memberikan sinyal *output* digital yang menjaga fitur statistik awal dan lebar pita yang tergantung pada tingkat pengambilan sampel. Jika tingkat pengambilan sampel tinggi, perbedaan magnitudo dari dua sampel berurutan kecil. Ini disebabkan oleh sifat kontinu dari sinyal analog yang memiliki korelasi yang kuat antara titik-titik yang dekat. Oleh karena itu, tingkat pengambilan sampel yang tinggi menghasilkan sinyal diskrit dan nilainya terkait dengan nilai-nilai tetangga mereka. Mempertimbangkan fakta ini, sebagai contoh untuk representasi delapan bit pada blok kuantisasi, kami memastikan bahwa dua sampel berurutan hanya berbeda dua atau tiga *Least Significant Bit* (LSB). Dalam kasus-kasus ini, mungkin untuk memproses urutan informasi, yaitu pengkodean sumber atau kompresi data, sehingga kita dapat mentransmisikan jumlah bit yang lebih sedikit untuk mewakili informasi yang sama [10].

Prosedur ini dapat memiliki dua akibat. Pertama, teknik pengkodean sumber harus diketahui oleh pemancar dan penerima karena proses ini harus dibalik di sisi penerima untuk mendapatkan *bit stream* asli. Kedua, jika sinyal masuk kami memiliki *bit rate* yang ditentukan, karena pengkodean sumber ini, sinyal *output* akan memiliki *bit rate* yang berbeda yang lebih rendah dari sinyal masuk. Tujuan blok ini bermakna karena *bit rate* efektif berkurang dan akibatnya lebar pita juga. Ini menguntungkan dengan mengurangi kompleksitas blok-blok berikutnya dan juga memendekkan pesan menjadi simbol-simbol dasar, yang jumlahnya terbatas saat ditransmisikan dalam sistem komunikasi nyata. Untuk menjaga kualitas informasi, kami harus memastikan bahwa blok pengkodean sumber tidak menghasilkan distorsi apa pun pada sinyal masuk.

Dua blok berikutnya memproses *output* dari format pengkodean dengan berbagai cara. Blok pertama yaitu pengkodean sumber harus mengetahui sifat-sifat blok pendahulunya dan sumber sinyal. Unit kedua yaitu pengkodean saluran memperhitungkan sifat-sifat modul transmisi yang akan datang. Oleh karena itu, ia mempersiapkan informasi dengan cara terbaik untuk blok-blok berikutnya sebelum sinyal sampai ke penerima. Ini membantu mencegah beberapa masalah yang mungkin terjadi pada saluran, yang merupakan saluran diskrit dan tidak terkait dengan medium saluran. Dengan kata lain, pengkodean saluran melindungi urutan

informasi terhadap distorsi atau *error* yang mungkin terjadi selama transmisi. Biasanya, ini.

Blok berikutnya, yang merupakan langkah penting untuk komunikasi *wireless* adalah unit pembentuk pulsa *baseband*. Keluarannya adalah pulsa analog tetapi tidak memiliki korespondensi dengan *converter digital-to-analog*. Sebenarnya, blok ini ditetapkan dalam unit modulasi digital. Kami menggambarkan pada Gambar 2.7, sinyal digital yang diwakili oleh 0 dan 1 dibentuk menjadi pulsa analog yang berisi informasi yang sama dengan lebar pita yang lebih kecil dibandingkan dengan sinyal masuk.



**Gambar 2. 7 Pulse Shaping Menggunakan Ideal Nyquist pulse**

Urutan informasi memiliki komponen-komponen frekuensi rendah dan dianggap sebagai sinyal *baseband*. Di sisi lain, unit modulator *carrier* menggunakan *carrier intermediate frequency* (IF) berjenis sinusoidal untuk mengalihkan sinyal *baseband*. Unit pembentuk pulsa *baseband* dan unit modulator *carrier* menggabungkan untuk membentuk blok modulator digital. *Output* dari blok ini adalah sinyal *bandpass analog continuous-wave*, sehingga mengkonversi stream biner masuk menjadi urutan *waveform* yang cocok untuk transmisi melalui saluran. Lebar pita tergantung pada jenis modulasi yang digunakan dan berpusat pada IF. Dengan kata lain, blok modulator digital adalah modulator *narrow-band*. Blok berikutnya adalah blok translator frekuensi atau blok *up-converter* frekuensi. Unit ini memerlukan *input* lain yang ditentukan sebagai FLO (*Local Oscillator Frequency*), yang merupakan *carrier* frekuensi tinggi.

*Up-converter* menyembunyikan ide translasi sederhana antara sumbu frekuensi ke frekuensi *band* yang sebenarnya yang telah dialokasikan untuk tujuan transmisi. *Output* yang diperoleh masih merupakan sinyal *bandpass narrow*. Sebenarnya, lebih sempit dibandingkan dengan *intermediate frequency*. Namun, sinyal ini tidak cocok untuk transmisi langsung, terutama karena daya yang rendah. Oleh karena itu, untuk mendapatkan sinyal dengan daya tinggi, kami menerapkan blok yang memiliki fungsi utama untuk memperkuat sinyal. Sebagai hasilnya, sinyal ditingkatkan dalam daya yang diperoleh sinyal *narrow band* yang jauh lebih kuat dari segi daya.

Sebelum mengirimkan sinyal melalui antena, impedansi *output* dari *power amplifier* dan beban antena harus cocok. Ini terwujud pada unit tahap berikutnya yang disebut "*antenna matching*". Tanpa blok ini, jumlah daya yang dipancarkan akan kurang dari yang optimal karena akan membuat sistem tidak efisien. Oleh karena itu, blok *antenna matching* memastikan bahwa sebagian besar daya ditransmisikan ke media saluran melalui antena.

### **2.3.2 Channel**

Kanal fisik dalam sistem *wireless* adalah udara yang dianggap sebagai ruang bebas. Namun, partikel-partikel kecil seperti debu dapat mengurangi sinyal. Di sisi lain, kanal telepon dapat menggunakan sebagai media fisik garis-garis kawat, kabel fiber optik, dan radio [18].

Saluran *wireless* terutama menambahkan sejumlah penyamaran, pengurangan dan bayangan yang signifikan selama proses transmisi. Kanal penyebaran adalah tautan ruang terbuka di antara antena dan kanal radio adalah ruang terbuka termasuk antena. Pengurangan sinyal yang disebut sebagai penyamaran yang terjadi dalam kanal penyebaran dan dalam hal kanal radio, kebisingan termal tambahan ditambahkan pada antena penerima. Karena alasan ini, desain sistem komunikasi yang baik mampu mengatasi efek-efek ini sehingga dapat memperoleh estimasi yang dapat diandalkan dari sinyal yang ditransmisikan.

Dalam sistem komunikasi nirkabel terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kinerja. Beberapa contoh dari faktor-faktor tersebut adalah *path loss* antara pemancar dan penerima, gangguan dari sistem nirkabel lain, atau objek di

medan antara pemancar dan penerima. Sinyal yang ditransmisikan mungkin melalui bangunan dan medan, direfleksikan oleh halangan di lingkungan dll. Semua hal ini berkontribusi pada distorsi sinyal yang ditransmisikan, dan secara kolektif membentuk saluran nirkabel.

### 2.3.2.1 Channel Properties and Parameters

Salah satu sifat yang mempengaruhi sinyal wireless adalah *path loss*, yaitu, kehilangan medan daya sinyal yang dialami saat melakukan perjalanan antara *Transmitter* dan *Receiver*. Dalam skenario paling sederhana, tanpa adanya hambatan di jalur, daya yang diterima pada *Receiver* ( $P_{RX}$ ) diberikan oleh hukum Friis [19]:

$$P_{RX}(d) = P_{TX}G_{TX}G_{RX}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (2.2)$$

Di mana  $G_{RX}$  dan  $G_{TX}$  adalah antena gain untuk antena penerima dan transmitter, masing-masing,  $\lambda$  adalah panjang gelombang dan  $d$  adalah jarak antara transmitter dan penerima, daya yang dipancarkan pada transmitter ( $P_{TX}$ ).

### 2.3.3 Receiver

Penerima dalam sistem komunikasi pada dasarnya memiliki unit yang sama dengan pemancar, namun dengan tujuan mengembalikan transformasi pemancar, mendeteksi dan mengembalikan aliran bit asli. Selain itu, fitur dan unit tambahan juga diimplementasikan untuk memperbaiki kesalahan bit yang disebabkan oleh kanal radio [18].

Diharapkan sinyal analog RF dengan daya rendah dan lubang sempit akan diterima pada antena penerima. Namun, sinyal yang diterima mungkin berisi sinyal gangguan lain yang berasal dari pemancar lain. Dengan kata lain, kompleksitas penerima tergantung pada kemampuannya untuk mendeteksi sinyal apa pun dan memilih yang diinginkan, mengurangi gangguan dari yang lainnya.

Masalah ini biasanya diselesaikan dengan desain di bagian pemancar, di mana sinyal yang diinginkan terpusat pada frekuensi yang ditentukan yang juga diketahui oleh penerima. Kemudian, penerima menyaring frekuensi sekitar menghindari kesalahan deteksi. Ada juga teknik penolakan gangguan dan modulasi lainnya yang melindungi informasi terhadap distorsi dan kesalahan yang



disebabkan oleh sinyal lain karena multi jalur propagasi. Seperti yang disebutkan sebelumnya, penerima adalah perangkat yang memilih frekuensi yang mencakup langkah-langkah yang sama yang dilakukan oleh unit pemancar, namun dalam cara yang berlawanan. Oleh karena itu, tiga blok pertama yang memproses sinyal RF adalah antenna, pencocokan antenna, dan penguat, seperti yang ditunjukkan pada bagian penerima dari Gambar 2.7 [17].

## 2.4 SYSTEM PERFORMANCE PARAMETERS

Pada konsep dari *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER), *Character Error Rate* (CER) tujuan pada bagian ini, merupakan beberapa perhitungan dari performansi yang berhubungan dengan sistem komunikasi.

### 2.4.1 *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

Ini adalah karakteristik kinerja yang paling umum dari sistem komunikasi digital dan sering diukur di *output* penerima. Ini berfungsi sebagai indikator keseluruhan keaslian dari sistem. Seperti namanya, ini membandingkan tingkat sinyal dengan tingkat kebisingan, yang didefinisikan sebagai rasio daya sinyal terhadap daya kebisingan (SNR), yang diungkapkan dalam desibel (dB) [20]:

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

### 2.4.2 *Bit Error Rate* (BER)

Kriteria kinerja ini paling terungkap tentang perilaku sistem. Ini adalah rasio sejumlah bit yang terdeteksi dengan kesalahan terhadap jumlah total bit yang dikirim. Kinerja komunikasi nirkabel biasanya dijelaskan dengan menggunakan plot antara BER vs. SNR. BER adalah tingkat kesalahan bit, sedangkan SNR adalah rasio daya sinyal terhadap daya kebisingan. Semakin tinggi rasio ini, semakin baik kualitas sinyal dan semakin rendah tingkat kesalahan bit yang dihasilkan sistem [20]:

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

Probabilitas kesalahan bit ( $P_b$ ) pada BPSK dapat dihitung menggunakan formula berikut [10], [21]:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.5)$$

Dimana  $Q(x)$  adalah fungsi *Q-invers Gaussian*,  $E_b$  adalah energi per bit, dan  $N_0$  adalah *spectral density of noise*.

### 2.4.3 Character Error Rate (CER)

Sebuah karakter tersusun dari 8 bit yang dapat berupa Alfabet dalam huruf besar dan kecil, tanda baca, angka dasar 0-9, dan beberapa kode kontrol. Perhitungan dalam mencari nilai CER dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$CER = \frac{\text{Jumlah Karakter Error}}{\text{Jumlah Karakter Dikirim}} \quad (2.6)$$

## 2.5 SALURAN KARAKTERISTIK SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL

Saluran karakteristik sistem komunikasi nirkabel memainkan peran yang penting mengenai implementasi dan desain komponen blok penerima. Sebagai contoh, saluran yang terbatas pita menentukan rentang frekuensi pembawa yang berlaku. Selain itu, fluktuasi amplitudo atau nonlinearitas dalam tingkat fase menyiratkan kebutuhan komponen equalisasi di penerima. Pada bagian ini, karakteristik dasar model saluran dipresentasikan. Sinyal yang diterima yang disebarkan melalui radio tidak hanya terdiri dari sinyal yang datang langsung dari pemancar, tetapi juga dari kombinasi salinan yang tercermin, difraksi, dan tersebar dari yang asli. Efek ini dikenal sebagai propagasi *multi-path*.

Tercermin terjadi ketika sinyal mengenai permukaan dan sebagian energi sinyalnya diabsorpsi oleh permukaan tersebut dan sisanya terus sampai mencapai antenna penerima. Hal ini mungkin dan biasa bahwa sinyal telah tercermin beberapa kali oleh lebih dari satu permukaan sebelum berakhir di penerima. Ketika sinyal berasal dari sinyal sekunder, fenomena ini disebut difraksi. Pengecualian terjadi ketika permukaan yang kasar menyebarkan energi sinyal ke segala arah

memberikan energi tambahan di penerima [22]. Pada saluran radio di mana udara adalah media, jalur langsung antara pemancar dan penerima mengurangi daya sinyal dengan faktor proporsional dengan kuadrat frekuensi pembawa dan kuadrat jarak. Efek ini yang membuang daya di ruang bebas disebut *Path Loss*. Di sisi lain, ketika media termasuk obstruksi menyebabkan variasi acak pada sinyal. Perilaku ini disebut *Shadowing*.

### 2.5.1 *Fading Channels*

Penurunan yang bervariasi dalam waktu dan terlambat yang merusak kinerja sistem komunikasi menentukan model saluran sebagai Saluran *Fading*. Beberapa penyebab efek ini dan studinya penting untuk merancang tindakan pencegahan terhadapnya, seperti *diversity* dan pengkodean [23].

Pengelompokkan saluran *fading* berdasarkan definisi-definisi berikut [22]:

- *Fast Fading*: *Fast fading* terjadi ketika waktu koheren, yaitu periode waktu di mana dua sinyal yang diterima memiliki korelasi amplitudo tinggi, lebih kecil daripada durasi simbol sinyal.
- *Slow Fading*: Ketika pergeseran frekuensi karena *Doppler* tidak signifikan, respon impuls saluran berubah perlahan. Didefinisikan saluran ini sebagai saluran *fading* lambat.
- *Frequency-Flat*: Jika lebar pita saluran lebih besar daripada lebar pita sinyal, saluran dianggap sebagai saluran *fading frequency-flat*. Distorsi utama yang disebabkan oleh *fading* ini adalah variasi acak dari gain dan spektrum frekuensi. Hal ini menyebabkan fade dan null yang dalam karena interferensi destruktif. Model ini biasa digunakan untuk saluran *radio mobile*.
- *Frequency-Selective*: Di sisi lain, jika lebar pita saluran lebih kecil daripada lebar pita sinyal, saluran menjadi saluran *fading frequency-selective*. Hal ini menyebabkan tumpang tindih simbol dalam domain waktu, yang dikenal sebagai ISI.
- Model Rayleigh dan Rician *Fading*: Jika tidak ada jalur langsung antara pemancar dan penerima, saluran *fading flat* diperkirakan oleh distribusi Rayleigh, yang esensinya adalah jumlah dari dua variabel acak

Gaussian independen ortogonal yang sama. Di sisi lain, ketika ada jalur langsung, komponen terkuat datang dari jalur langsung dan memudar lebih dalam dibandingkan dengan komponen *multipath*. Perilaku ini khas dari distribusi Rician [22].

## 2.6 PEMBAGIAN *BAND FREQUENCY*

Untuk mentransmisikan sinyal informasi dari satu tempat ke tempat yang lain, media transmisi yang digunakan adalah gelombang radio. Gelombang radio dapat dikirimkan dengan menggunakan frekuensi yang terdapat dalam spektrum frekuensi yang luas, yaitu 3 kHz hingga 300 GHz (dapat dilihat pada Tabel 2.1). Namun, ada juga kemungkinan untuk menggunakan frekuensi di bawah 30 kHz. Gelombang radio digunakan untuk mentransmisikan sinyal informasi melalui udara atau ruang hampa. Gelombang radio dapat digunakan untuk berkomunikasi melalui radio, televisi, telepon seluler, dan berbagai perangkat lainnya yang memerlukan transmisi sinyal informasi [24].

**Tabel 2. 1 Pembagian *Band Frequency* [24]**

<i>Frequency Band</i>	<i>Frequency Range</i>
<i>Extremely low frequency (ELF)</i>	<3KHz
<i>Very low frequency (VLF)</i>	3-30 kHz
<i>Low frequency (LF)</i>	30-300 kHz
<i>Medium Frequency (MF)</i>	300 kHz – 3MHz
<i>High frequency (HF)</i>	3 -30 MHz
<i>Very High frequency (VHF)</i>	30 – 300 MHz
<i>Ultra High frequency (UHF)</i>	300 MHz – 3 GHz
<i>Super High frequency (SHF)</i>	3-30 GHz
<i>Extra High frequency (EHF)</i>	30 – 300 GHz

### 2.6.1 *Ultrahigh Frequency (UHF)*

Spektrum frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) adalah 300 hingga 3.000 MHz. Metode propagasi utama termasuk scatter troposfer, satelit, air/darat/air, dan

LOS (*Line of Sight*). Karena fleksibilitas komunikasi UHF, jarak jangkauan bervariasi secara signifikan sebagai berikut:

- LOS (*Line of Sight*) - 15 hingga 100 mil, tergantung pada topografi, 300+ mil nautika (nm) LOS dari pesawat.
- Satelit - ribuan mil, tergantung pada ketinggian, daya, dan konfigurasi antena.

Daya Pancar dapat berkisar dari 10 hingga 100 watt untuk sistem LOS dan satelit sementara sistem troposcatter beroperasi dalam rentang 2.500 hingga 10.000 watt.

Banyak sistem UHF dapat ditransportasikan dengan mobil, pesawat, atau kapal. Beberapa terminal satelit UHF cukup kecil dan ringan untuk dibawa oleh *spacecraft*. Aplikasi UHF yang umum dapat dilihat setiap hari dalam jaringan radio ambulans, pemadam kebakaran, dan kepolisian lokal, dengan operasi *repeater* menjadi biasa. Di instalasi militer, jaringan *intrabase radio* (IBR) yang tidak taktis biasanya VHF atau UHF. Sistem UHF mampu mentransmisikan sinyal dengan kualitas tinggi, handal, dan kapasitas tinggi dengan tingkat data 2.4 Kbps dan lebih tinggi. UHF banyak digunakan untuk menyediakan layanan suara, rekaman, data, dan faks yang aman/tidak aman dikonfigurasi *mobile* dan tetap. Bersama dengan VHF, UHF adalah frekuensi yang disukai untuk televisi [1].

## 2.7 SISO - SINGLE INPUT SINGLE OUTPUT

Untuk dapat memahami sistem antena ganda, sangat penting untuk terlebih dahulu memahami sistem antena tunggal (SISO) dasar karena sistem ini menjadi dasar prinsip-prinsip yang dibangun oleh model sistem antena ganda. Dengan satu pemancar, satu penerima, dan saluran waktu-tak-berubah, seperti kabel, hubungan antara sinyal yang ditransmisikan  $s(t)$  dan sinyal yang diterima  $r(t)$  dapat diungkapkan sebagai [25]:

$$r(t) = h(t) * s(t) + n(t) \quad (2.7)$$

Di mana  $h(t)$  adalah respon impuls saluran,  $s(t)$  adalah sinyal yang ditransmisikan,  $n(t)$  adalah proses acak yang memodelkan kebisingan, dan  $*$  menandakan konvolusi.

Pada sistem nirkabel, saluran sering tidak dapat dilihat sebagai waktu-tak-berubah karena saluran akan berubah saat lingkungan propagasi berubah pada sinyal yang diterima ( $y(t)$ ), dimana sinyal yang dikirim ( $x(t)$ ) dipengaruhi oleh respon impuls. Karena itu, respon impuls saluran menjadi waktu-berubah [25]:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau)h(t, \tau)d\tau \quad (2.8)$$

Saluran  $h(t; \tau)$  disebut sebagai saluran waktu-berubah di mana  $\tau$  menandai delay.

## 2.8 MODULASI BPSK

BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) adalah salah satu jenis modulasi digital yang digunakan dalam komunikasi digital. Ini mengubah fase dari sinyal *carrier* acak sesuai dengan bit yang dikirimkan. Pada BPSK, dua fase yaitu 0 derajat dan 180 derajat digunakan untuk mewakili bit 0 dan 1 [10].

BPSK dapat diungkapkan sebagai [12]:

$$S(t) = A \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(m - 1) \right] \quad (2.9)$$

Sinyal BPSK dapat dihasilkan dengan mengubah fase dari *carrier* acak sesuai dengan bit yang dikirimkan [26]:

Ketika bit yang diterima “1”:

$$S_1(t) = A \cos [2\pi f_c t] \quad (2.10)$$

Ketika bit yang diterima “0”:

$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos[2\pi f_c t + \pi] \\ &= -A \cos [2\pi f_c t] \end{aligned} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$S_1(t)$  : Fungsi sinyal terhadap waktu

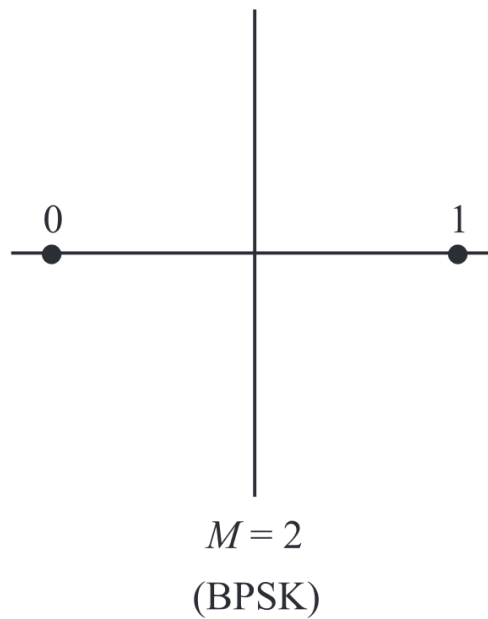
$A$  : Amplitudo

$f_c$  : Frekuensi pembawa

$t$  : Waktu

$M$  : Faktor modulasi

$m$  : Indeks modulasi

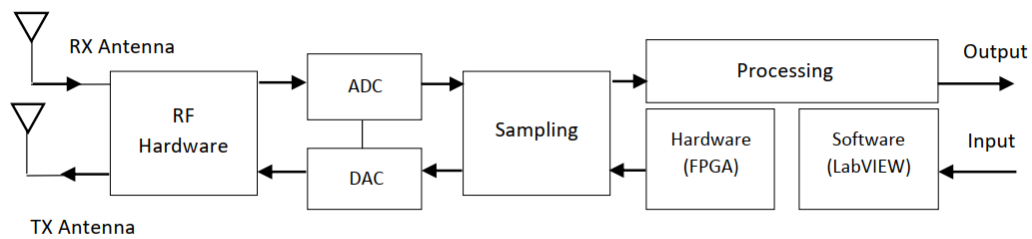


**Gambar 2. 8** Konstelasi Modulasi BPSK [10]

## 2.9 SOFTWARE DEFINED RADIO

*Software defined radio* (SDR) adalah sistem di mana komponen pengolahan sinyal seperti *amplifier*, modulator, atau logika khusus didefinisikan dalam perangkat lunak. SDR dapat memberikan peralatan radio yang fleksibel, dapat dilakukan *upgrade*, dan memiliki umur pakai yang lebih lama untuk infrastruktur komunikasi *wireless*. SDR juga dapat memberikan terminal multi-standar yang lebih fleksibel dan mungkin lebih murah untuk pengguna akhir. Namun, SDR juga menimbulkan banyak tantangan, beberapa di antaranya menyebabkan SDR berkembang lebih lambat daripada yang diantisipasi. Tantangan pengembangan *transceiver* termasuk masalah ukuran, bobot, dan daya, seperti kapasitas komputasi yang diperlukan, tetapi juga tantangan arsitektur seperti portabilitas aplikasi *waveform* [27]. SDR memiliki implikasi yang berat bagi regulator, organisasi keamanan, dan pengembang bisnis.

SDR adalah sistem komunikasi di mana komponen radio, termasuk *mixer*, *filter*, modulator/demodulator, dan sirkuit deteksi diimplementasikan dalam media yang dapat diprogram untuk menyediakan fleksibilitas dan kemampuan yang lebih tinggi. Diagram blok SDR ditunjukkan pada Gambar 2. 9.



**Gambar 2. 9 Blok Diagram SDR [27]**

SDR mungkin termasuk beberapa komponen *hardware* atau tetap, termasuk antena, *hardware RF front-end*, dan ADC atau DAC, sementara bagian lain dari fungsi dapat diimplementasikan dalam perangkat lunak atau media yang dapat diprogram. Bagian perangkat lunak termasuk sistem FPGA yang terstruktur dengan baik yang dapat memberikan *bandwidth* dan kemampuan pemrosesan yang diperlukan untuk mengimplementasikan SDR yang kompleks, dan mereka dapat melakukannya pada berbagai tingkat sampling dan *bandwidth* rentang GHz.

Biasanya, SDR diberikan interpretasi yang lebih praktis, yang secara implisit menyatakan bahwa sebagian besar *waveform* didefinisikan dalam perangkat lunak, memberikan fleksibilitas untuk mengubah *waveform* dalam batas-batas tertentu yang diberikan oleh sistem aktual. Fleksibilitas biasanya diasumsikan setidaknya sampai multibanda dan multi modulasi. Ada banyak motivasi untuk menggunakan solusi SDR. Di sektor militer, di mana sistem komunikasi harus memiliki masa layanan yang lebih lama daripada di sektor komersial, SDR membantu melindungi investasi dengan memperpanjang masa layanan yang bermanfaat dari sistem komunikasi. Ini dilakukan melalui SDR yang memungkinkan kemungkinan untuk mengubah *waveform* dan/atau memuat *waveform* baru pada peralatan SDR yang sudah diperoleh [27]. SDR memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas pengembangan komunikasi radio dan menurunkan biaya hidup siklus komunikasi radio.

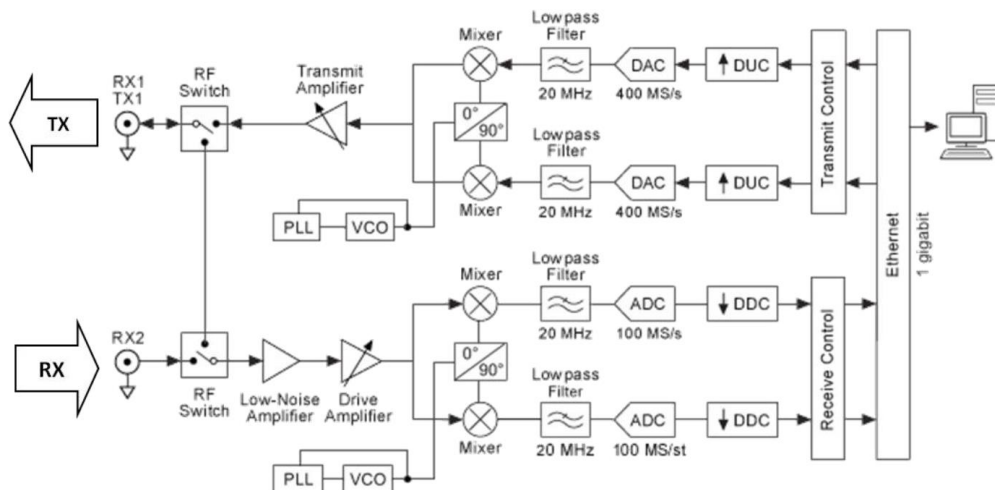
## 2.10 USRP

NI USRP terhubung ke PC *host* yang menciptakan radio terdefinisi perangkat lunak. Sinyal masuk pada *input* konektor SMA dicampur menggunakan



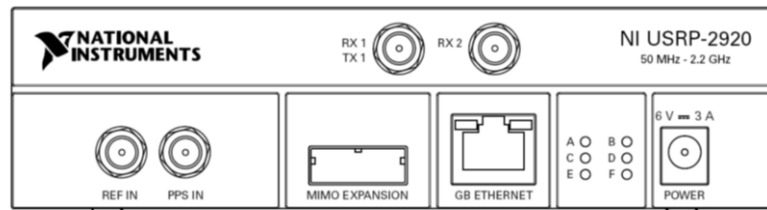
penerima konversi langsung ke komponen *I/Q baseband*, yang dicuplik oleh konverter *analog-to-digital* (ADC). Data *I/Q* terdigitasi mengikuti jalur paralel melalui proses *digital downconversion* (DDC) yang mencampur, menyaring, dan mengurangi sinyal masuk ke tingkat yang ditentukan pengguna. Contoh *downconverted* diikuti ke komputer *host*.

Untuk transmisi, sampel sinyal *I/Q baseband* dicampur oleh komputer *host* dan disajikan ke USRP pada tingkat *sampling* yang ditentukan melalui *Ethernet*, *USB*, atau *PCI express*. *Hardware USRP* menginterpolasi sinyal masuk ke tingkat *sampling* yang lebih tinggi menggunakan proses *digital upconversion* (DUC) dan kemudian mengubah sinyal menjadi analog dengan konverter *digital-to-analog* (DAC). Sinyal analog yang dihasilkan kemudian dicampur ke frekuensi pembawa yang ditentukan [4].



**Gambar 2. 10 Jenis Blok Diagram NI USRP [4]**

### 2.10.1 Spesifikasi NI USRP-2920



**Gambar 2. 11 Tampilan Depan Perangkat NI USRP-2920 [4]**

**Tabel 2. 2 Spesifikasi Transmitter NI USRP-2920 [28]**

Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Maximum output power (Pout)	
50 MHz to 1.2 GHz	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW to 70 mW (15 dBm to 18 dBm)
Gain range	0 dB to 31 dB
Gain step	1.0 dB
Frequency accuracy	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q <i>sample rate</i>	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Digital-to-analog converter (DAC)	2 channels, 400 MS/s, 16 bit
DAC spurious-free dynamic range (sFDR)	80 dB

**Tabel 2. 3 Spesifikasi Receiver NI USRP-2920 [28]**

Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Gain range	0 dB to 31.5 dB
Gain step	0.5 dB
Maximum input power (Pin)	0 dBm
Noise figure	5 dB to 7 dB
Frequency accuracy	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q <i>sample rate</i>	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Digital-to-analog converter (ADC)	2 channels, 100 MS/s, 14 bit
DAC spurious-free dynamic range (sFDR)	88 dB

**Tabel 2. 4 Spesifikasi Lainnya NI USRP-2920 [28]**

Total power, typical operation	
Typical	12 W to 15 W
Maximum	18 W
Power requirement	Accepts a 6 V, 3 A external DC power Connector
Physical dimensions	
(L × W × H)	15.875 cm × 4.826 cm × 21.209 cm (6.25 in. × 1.9 in. × 8.35 in.)
Weight	1.193 kg (2.63 lb)
Maximum altitude	2,000 m (800 mbar) (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree	2
Operating temperature	23 °C ± 5 °C
Relative humidity range	10% to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-56)

## 2.11 LABVIEW

LabVIEW adalah bahasa pemrograman grafis yang dikembangkan oleh *National Instruments*. Blok bangunan dasar LabVIEW adalah alat *Virtual Instruments (VI)*. Secara konseptual, VI sebanding dengan prosedur atau fungsi dalam bahasa pemrograman konvensional. Setiap VI terdiri dari sebuah diagram blok dan sebuah panel depan. Diagram blok menggambarkan fungsi dari VI, sedangkan panel depan adalah antarmuka tingkat atas ke VI. Konstruksi VI menyediakan dua kebaikan penting LabVIEW: penggunaan ulang kode dan modularitas. Sifat grafis dari LabVIEW menyediakan kebaikan lain: memungkinkan para pengembang untuk dengan mudah memvisualisasikan aliran data dalam desain mereka. NI menyebut ini *Graphical System Design*. Selain itu, karena LabVIEW adalah bahasa pemrograman aliran data yang matang, ia memiliki banyak dokumentasi, *toolkit*, dan contoh yang ada yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan.

LabVIEW menyediakan antarmuka sederhana untuk mengkonfigurasi dan mengoperasikan berbagai I/O eksternal, termasuk *hardware SDR NI* yang

digunakan di lab. Inilah alasan utama untuk menggunakan LabVIEW sebagai bahasa pemrograman untuk membangun SDR. Algoritma yang dipertimbangkan di sini juga dapat diprogram dalam C/C++, *assembly*, atau VHDL yang dioptimalkan dan diimplementasikan pada DSP (*Digital Signal Processing*), mikrokontroler, atau FPGA [4].