

## BAB III

### METODE PENELITIAN

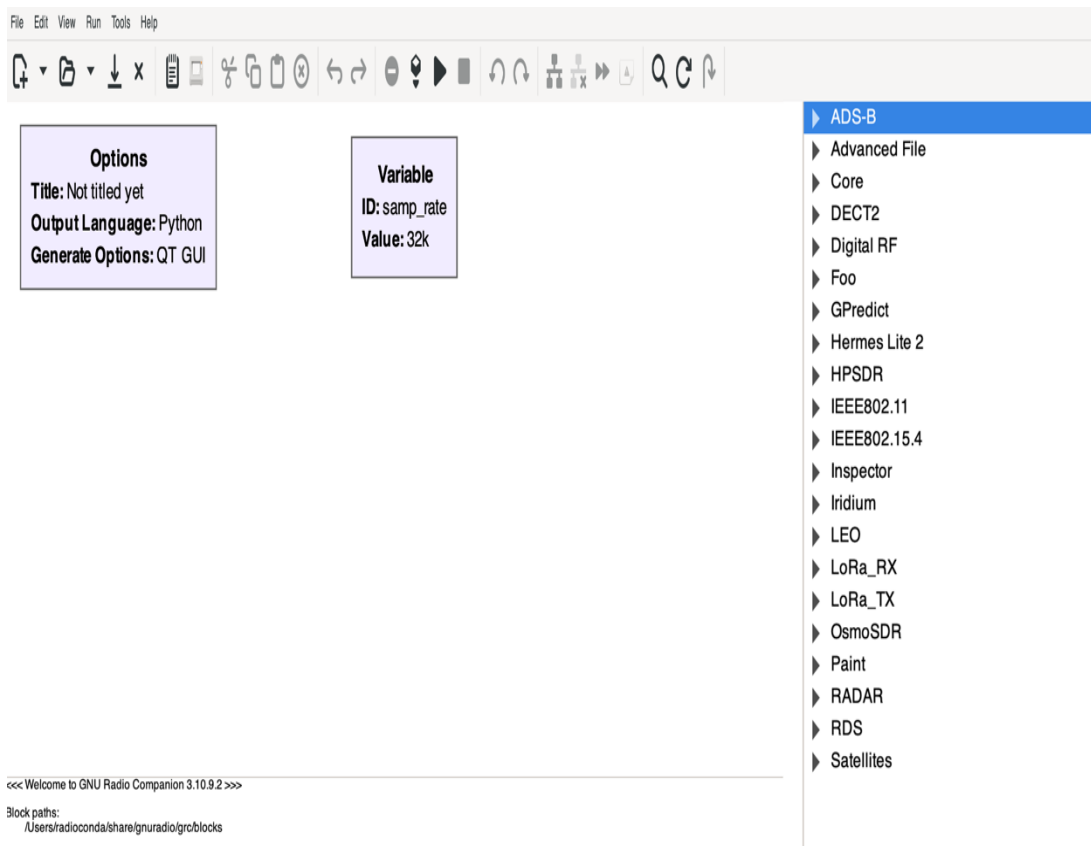
#### 3.1 Alat & Bahan

Penelitian ini membahas tentang pengiriman sebuah data berbasis gambar dengan menggunakan teknologi *Software Defined Radio* (SDR). Sistem *multicarrier* yang digunakan adalah *Orthogonal Frequency Devision Multiplexing* (OFDM). Penelitian ini akan melakukan pengujian simulasi secara langsung di luar ruangan. Untuk pengimplementasian simulasi akan menggunakan perangkat USRP NI 2920 sebagai *transmitter* dengan bantuan *software* GNU Radio dan USRP NI 2920 sebagai *receiver* dengan bantuan *software* GNU Radio untuk menampilkan parameter BER dan SNR.

##### 3.1.1 GNU Radio

GNU Radio adalah perangkat lunak berbasis *open source* untuk memungkinkan pengguna membangun, merancang, mensimulasikan dan menerapkan sistem radio dunia nyata yang berkemampuan tinggi. GNU Radio menyediakan pemrosesan sinyal yang panjang dan pengolahan blok untuk berkomunikasi dengan perangkat keras eksternal. GNU Radio telah digunakan untuk sejumlah besar aplikasi radio dunia nyata, termasuk pemrosesan audio, komunikasi seluler, pelacakan satelit, sistem radar, jaringan GSM dan banyak lainnya. Aplikasi yang terdapat pada GNU Radio umumnya di program menggunakan bahasa *python*, namun saat implementasi penggunaan bisa juga dikombinasikan menggunakan bahasa pemrograman C++.

*Software* ini banyak digunakan untuk menggantikan peran dari beberapa blok yang ada pada sistem komunikasi seperti *mixer*, modulator/demodulator, filter dan sebagainya yang biasa disebut sebagai teknologi SDR. Perangkat yang biasa dikombinasikan dengan perangkat keras seperti *transceiver* (pengirim sinyal) dan *receiver* (penerima sinyal) adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). Seperti pada Gambar 3.1 penelitian ini menggunakan GNU Radio Companion versi 3.10.9.2.



**Gambar 3. 1 Software GNU Radio Versi 3.10.9.2.**

### 3.1.2 *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*

USRP adalah singkatan dari *Universal Software Radio Peripheral*. USRP adalah platform perangkat keras radio yang dapat di program yang memungkinkan pengguna untuk memproses sinyal RF secara digital yang dikembangkan oleh Matt Ettus [34]. Perangkat keras USRP adalah platform RF yang mudah digunakan aplikasi prototipe cepat seperti penyiaran dan pemantauan spektrum. Dengan kemampuan untuk mengirim dan menerima sinyal RF dalam jangkauan frekuensi yang luas dan dukungan MIMO *plug-and-play*. USRP memungkinkan berbagai aplikasi RF/komunikasi mencakup standar umum seperti siaran radio, TV digital, Seluler 4G & 5G, WiMax, 802.11 (Wi-Fi) dan ZigBee. Pada penelitian ini menggunakan USRP NI 2920. Pemancar radio USRP NI 2920 dapat diprogram dengan perangkat lunak di rancang untuk pengajaran dan penelitian dalam bidang nirkabel komunikasi. Tampilan dari depan *hardware* USRP NI 2920 dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 2 Tampilan Depan *Hardware* USRP NI 2920 [35].**

Pada USRP terdapat banyak tipe dengan spesifikasi yang berbeda-beda dan memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada penelitian ini dengan menggunakan USRP NI 2920 memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3. 1 Spesifikasi USRP-2920 Pada *Transmitter* [35].**

<b><i>Transmitter</i></b>	
<i>Frequency Range</i>	50MHz to 2.2GHz
<i>Frequency Step</i>	<1kHz
<b><i>Maximum output power (P<sub>out</sub>)</i></b>	
50MHz to 1.2GHz	50mW to 100mW (17 dBm to 20 dBm)
1.2GHz to 2.2GHz	30mW to 70mW (15dBm to 18dBm)
<i>Gain range</i>	0 dB to 31 dB
<i>Gain step</i>	1.0 dB
<i>Frequency accuracy</i>	2.5 ppm
<b><i>Maximum Instantaneous Real-Time Bandwidth</i></b>	
16-bit <i>sample width</i>	20 MHz
8-bit <i>sample width</i>	40 MHz

<b>Maximum I/Q Sample rate</b>	
16-bit sample width	25 MS/s
<b>Maximum I/Q Sample rate</b>	
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 3. 2 Spesifikasi USRP-2920 Pada Receiver [35].**

<b>Receiver</b>	
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 ( $P_{in}$ )	0 dBm
Noise figure	5 dB to 7 dB
Frequency accuracy	2.5 ppm
<b>Maximum Instantaneous Real-Time Bandwidth</b>	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
<b>Maximum I/O Sample Rate</b>	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Analog-to-digital converter (ADC)	2 channels, 10 MS/s, 14 bit
ADCsFDR	88 dB

**Tabel 3. 3 Spesifikasi Lainnya Pada USRP-2920 [35].**

<b>Total Power, Typical Operation</b>	
Typical	12 W to 15 W
Maximum	18 W
Power requirement	Accepts a 6 V, 3 A external DC power connector

<b>Physical Characteristics</b>	
(L * W * W)	15.875 cm * 4.826 cm * 21.209 cm
<i>Weight</i>	1.193 kg
<b>Environment</b>	
<i>Maximum altitude</i>	2,000 m (800 mbar)(at 25 C ambient temperature)
<i>Pollution degree</i>	2
<b>Operating Environment</b>	
<i>Operating temperature</i>	23°C
<i>Relative humidity range</i>	10% to 90% <i>noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-56)</i>

Pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 terdapat parameter-parameter penting yang ada di USRP NI 2920. Penjelasannya seperti berikut ini :

1. *Frequency range*

Rentang frekuensi yang mengindikasikan kisaran frekuensi yang dapat diakses oleh perangkat. Pada USRP NI 2920, rentang frekuensinya adalah 50 MHz hingga 2.2 GHz.

2. *Frequency Step*

Menunjukkan batasan nilai terkecil yang dapat di atur untuk mengubah frekuensi pada perangkat. Pada USRP NI 2920, *Frequency step* kurang dari 1 kHz

3. *Gain Range*

Rentang penguatan mengindikasikan kisaran peningkatan sinyal yang dapat diterapkan pada perangkat. Pada USRP NI 2920, rentang penguatannya adalah dari 0 dB hingga 31dB.

4. *Gain Step*

Menunjukkan batasan nilai terkecil yang dapat di atur untuk mengubah gain pada perangkat. Pada USRP NI 2920, *gain step* adalah 1.0 dB.

5. *Noise Figure*

*Noise figure* atau faktor kebisingan mengindikasikan seberapa banyak perangkat menurunkan kebisingan atau *noise* tambahan pada sinyal yang diterima. Pada USRP NI 2920, daya kebisingannya berkisar antara 5 dB hingga 7 dB.

6. *Frequency Accuracy*

Akurasi frekuensi mengukur seberapa dekat frekuensi yang ditetapkan oleh perangkat dengan nilai yang sebenarnya. Pada USRP NI 2920, akurasi frekuensinya adalah 2.5 ppm.

7. *Maximum instantaneous real-time bandwidth*

Merupakan kapasitas *bandwidth* maksimum yang dapat di proses oleh perangkat dalam waktu yang nyata. Pada USRP NI 2920, *bandwidth* maksimumnya adalah 20 MHz untuk sampel lebar 16-bit dan 40 MHz untuk sampel lebar 8-bit.

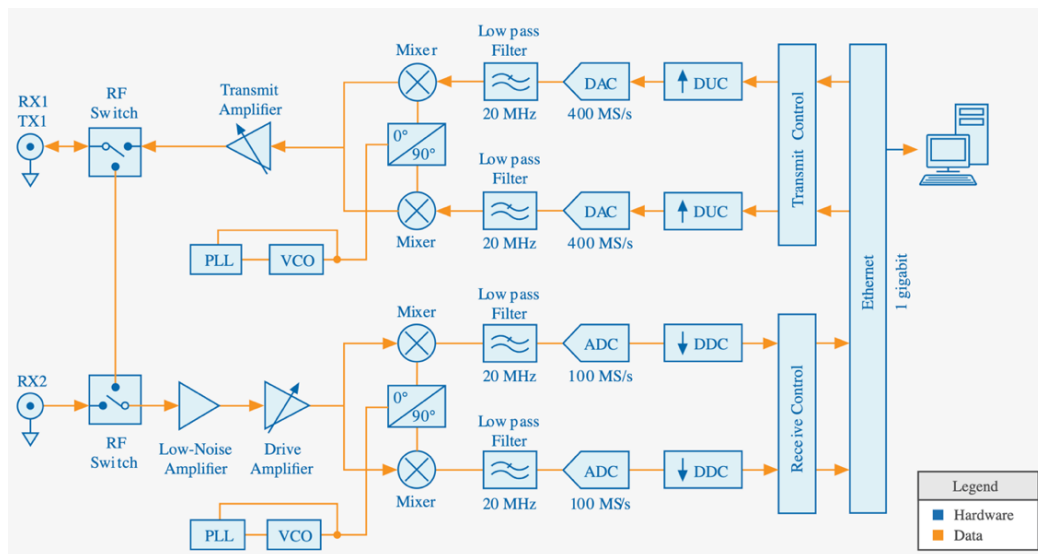
8. *Maximum Input/Output (I/O) Sample Rate*

Kecepatan sampel I/O maksimum menunjukkan seberapa cepat perangkat dapat mentransfer data antara input dan *output*. Pada USRP NI 2920, kecepatan maksimumnya adalah 25MS/s sampel lebar 15-bit dan 50MS/s untuk sampel lebar 8-bit.

Pada USRP NI 2920 terdapat blok diagram yang direpresentasikan seperti Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3 diagram USRP NI 2920 dapat sebagai penerima dan juga pemancar, lalu terdapat 2 jalur penerima (RX) dan dua jalur pemancar (TX). Pada gambar sudah ada keterangan bahwa blok dengan warna biru merupakan *hardware* dan berwarna *orange* merupakan data. Pada Jalur pemancar seperti Gambar 3.3 data digital dari komputer diterima melalui *ethernet* yang masuk ke *Digital Up Converter* (DUC). DUC berfungsi untuk mengubah frekuensi sampel digital ke frekuensi yang lebih tinggi. Sinyal yang ingin dikirimkan akan di ubah ke dalam bentuk analog dengan menggunakan *Digital-to-Analog Converter* (DAC) yang berfungsi mengubah sinyal digital menjadi analog. Selanjutnya, sinyal akan menghilangkan *noise* dan frekuensi tinggi yang tidak diinginkan dengan menggunakan *Low-Pass Filter* (LPF). Lalu akan terjadi *mixer* yang mengubah frekuensi *baseband* ke frekuensi RF. Pada *mixer* sinyal mengalami proses *Phase Locked Loop* (PLL) dan *Voltage Controlled Oscillator* (VCO)

yang merupakan bagian dari sistem komunikasi nirkabel yang digunakan untuk mengontrol dan menstabilkan frekuensi. Sinyal akan di perkuat sebelum ditransmisikan dengan *transmit amplifier* yang akan masuk ke *RF switch*. Disini akan memilih antenna yang sesuai berdasarkan pengaturan perangkat. Setelahnya sinyal RF yang dipancarkan kemudian diradiasikan oleh antenna. Setelah itu terjadi, maka proses pada bagian pemancar sudah berakhir, yang akan masuk ke dalam proses penerima.

Proses pada jalur penerima merupakan kebalikan dari proses pemancar dan terdapat perbedaan sedikit. Seperti Gambar 3.3 sinyal RF diterima oleh antenna dan diarahkan ke *RF switch*. *RF switch* memilih antenna yang sesuai berdasarkan pengaturan perangkat. Sinyal yang diterima pastinya akan terjadi pelemahan pada bagian kanal yang bisa terjadi karena adanya obstacle, maka dari itu sinyal akan diperkuat oleh *Low Noise Amplifier (LNA)* dan *drive amplifier*. Selanjutnya akan terjadi *mixer* yang mengubah frekuensi sinyal RF ke frekuensi *baseband* yang dikontrol dan distabilkan oleh PLL dan VCO. Selanjutnya akan menghilangkan *noise* dan frekuensi tinggi yang tidak diinginkan dengan menggunakan LPF. Lalu sinyal akan di ubah kebentuk digital dengan menggunakan *Analog-to-Digital Converter (ADC)* yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi digital. Selanjutnya akan ke *Digital Down Converter (DDC)* yang berfungsi mengubah frekuensi sampel digital kefrekuensi yang lebih rendah. Data digital yang dihasilkan kemudian ke komputer melalui *ethernet*.



**Gambar 3. 3 Blok Diagram USRP NI 2920 [35].**

### 3.2 Alur Penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilewati dalam pengujian teknik transmisi gambar pada sistem komunikasi *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) berbasis *Software Defined Radio* (SDR) sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai dasar untuk membangun dalam proses perancangan sistem. Pada bagian ini akan membahas dasar teori yang mendukung dalam mendesain sistem dan pengujian transmisi gambar pada sistem komunikasi V2V berbasis SDR seperti sistem komunikasi, sistem komunikasi kendaraan, pemodelan kanal, *fading*, *multi-carrier* dan SDR.

#### 2. Perancangan Sistem

Perancangan yang dilakukan disini merupakan perancangan sistem pada USRP dan GNU Radio dengan parameter yang sesuai. Parameter yang digunakan harus sesuai sebagai media pemancar dan penerima untuk sistem komunikasi pada transmisi gambar V2V. Pada perancangan meliputi menetapkan model kanal, menetapkan parameter yang digunakan, penentuan kondisi kendaraan dan menetapkan *multicarrier*. *Multicarrier* mengacu pada sistem modulasi, demodulasi dan proses pengiriman transmisi gambar pada V2V untuk instalasi perangkat hingga bisa terhubung pada *software* dan dapat diuji.

#### 3. Uji coba/Pengujian

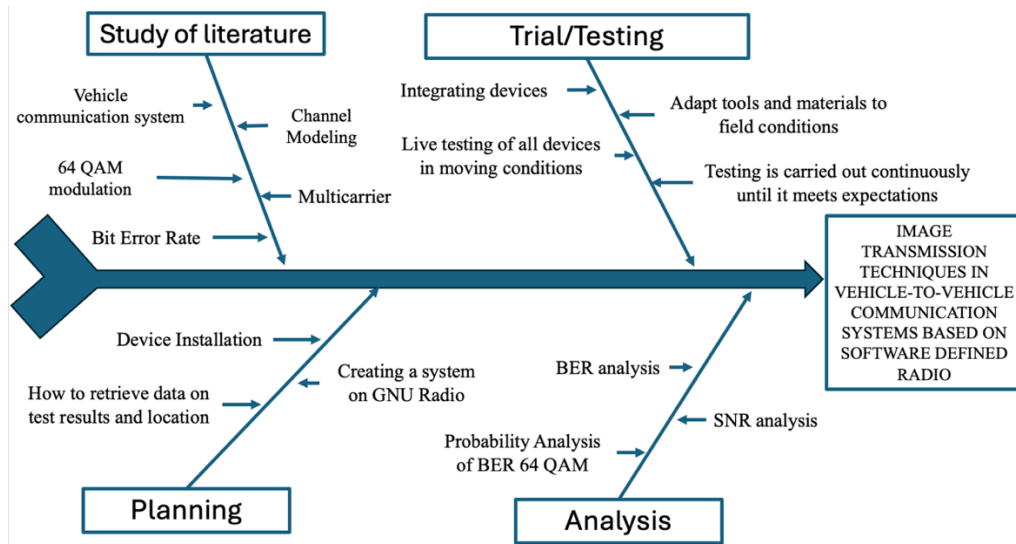
Bagian uji coba/pengujian dilakukan dengan menjalankan blok program GNU Radio yang telah terhubung keperangkat dalam pengujian lapangan. Dari pengujian tersebut, sinyal yang dikirimkan diukur untuk mendapatkan nilai BER dan SNR yang dapat dilihat pada bagian penerima. Pengujian/uji coba dilakukan terus menerus sampai sesuai dengan yang diharapkan.

#### 4. Analisis

Pada proses analisis meliputi pengumpulan data dari uji coba yang telah dilakukan, lalu dilakukan proses akuisisi data untuk di olah secara matematis. Dari hasil pengolahan data, dapat dilihat hasil uji coba pada parameter performansi dari SNR dan BER.



Tahap-tahapan tersebut dapat dilihat dalam bentuk alur penelitian (*fishbone*) pada Gambar 3.4 berikut ini.

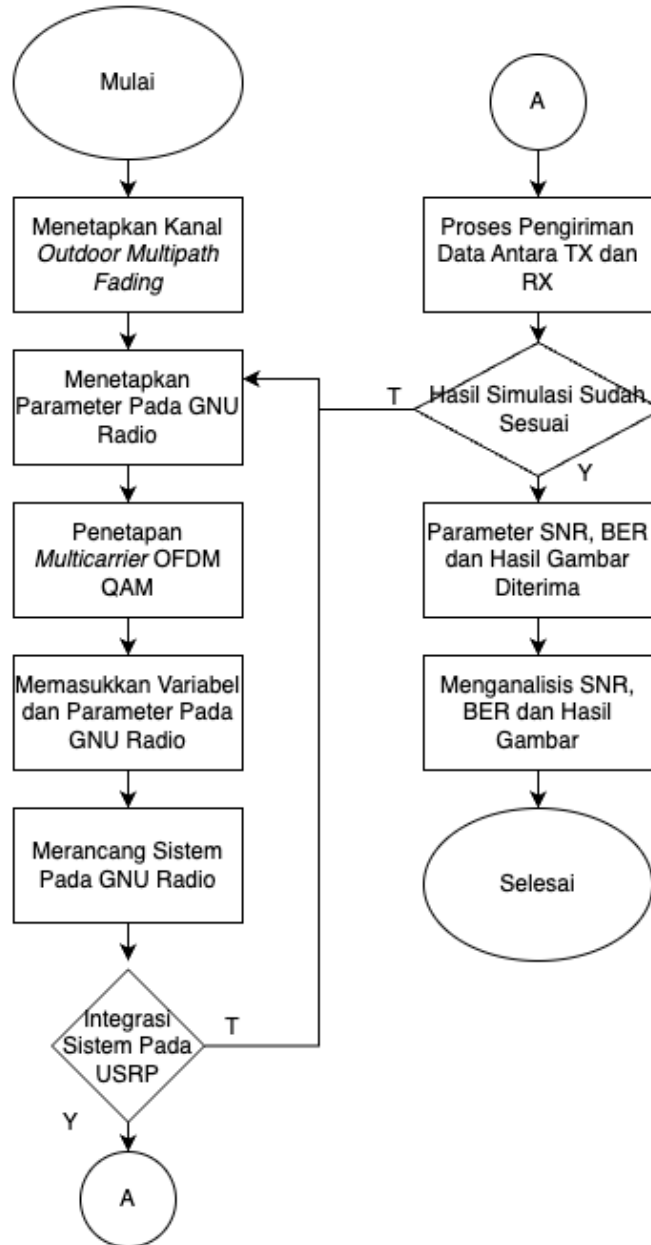


**Gambar 3. 4 Alur Penelitian.**

Dalam tahapan dari perancangan sistem yang akan dibuat pada teknik transmisi gambar pada komunikasi V2V berbasis SDR memiliki rincian lagi. Seperti yang direpresentasikan pada Gambar 3.5. Penjabaran dari Gambar 3.5 sebagai berikut :

1. Menetapkan model kanal: Dalam hal ini merupakan hal awal untuk merancang sebuah sistem. Dalam penelitian ini menggunakan kanal *outdoor multipath fading*.
2. Menetapkan parameter: Hal ini merupakan bagian krusial karena bisa mengubah hasil akhir yang akan dibuat. Hal ini harus diperhitungkan untuk hasil akhir atau probabilitas dengan formula-formula yang bersangkutan dengan hasil akhir penelitian. Sehingga dapat memiliki gambaran untuk hasil akhir penelitian.
3. Penetapan *multicarrier*: Dalam penelitian ini, menggunakan *multicarrier* OFDM dengan modulasi QAM.
4. Integrasi antara USRP pengirim dan USRP penerima: Mengintegrasikan sistem *multicarrier* dengan USRP yang digunakan pada kanal *outdoor multipath fading*. Pada saat melakukan integrasi dengan menggunakan parameter dan alat yang telah ditentukan, jika tidak berhasil atau gagal maka akan balik ke proses menetapkan parameter pada GNU Radio sampai integrasi antar USRP berhasil.

5. Pelaksanaan simulasi: Menggunakan konsep yang sudah ditentukan yaitu dengan menggunakan mobil yang bergerak.
6. Hasil simulasi: Menghasilkan data pada *software GNU Radio* dengan parameter SNR dan BER.
7. Menganalisis hasil data: Data yang didapatkan dari hasil simulasi yang telah dilakukan dianalisis .



**Gambar 3. 5 Alur Perancangan.**

### 3.3 Parameter Simulasi

Parameter yang akan digunakan pada laporan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

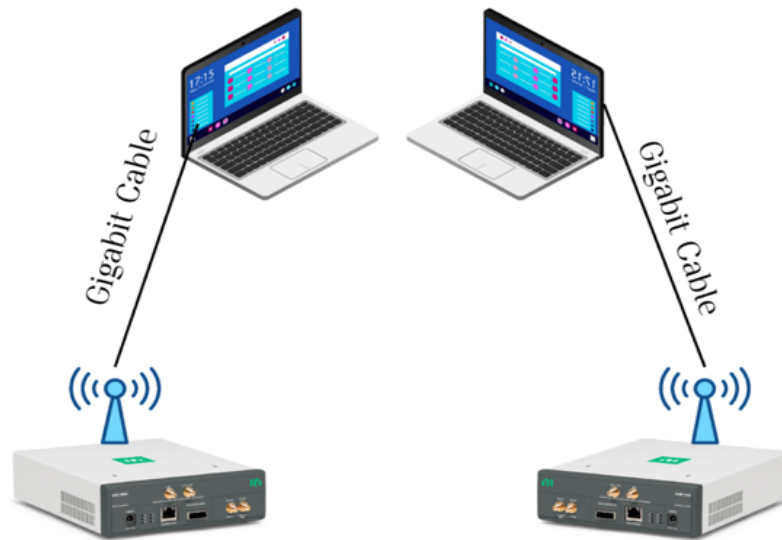
**Tabel 3. 4 Parameter Simulasi.**

Simbol	Parameter	Nilai
$m$	Jenis Modulasi	16-QAM
$G_{Tx}$	Nilai <i>Gain Transmitter</i>	30
$h$	Kanal	V2V
$G_{Rx}$	Nilai <i>Gain Receiver</i>	31
$f_c$	Frekuensi Pembawa	900 MHz
$N_{fft}$	Size FFT	64
$N$	Jumlah bit	8 bit
$D$	Jenis data masukan	JPEG
$V_{Tx}$	Kecepatan Tx & Rx	10, 20 & 30 km/jam
SR	<i>Sampel Rate</i>	550.000.000

### 3.4 Pemodelan Sistem

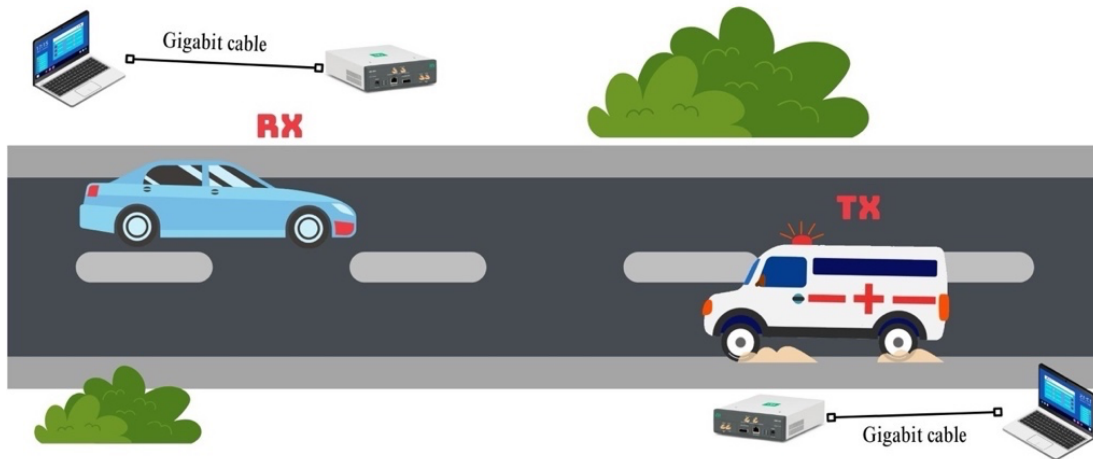
#### 3.4.1 Rancangan Perangkat keras

Penelitian ini dilakukan menggunakan *hardware* yang telah disebutkan pada subbab alat dan bahan. Perangkat keras yang digunakan adalah *Universal Software Radio Peripheral (USRP)* dari Ettus Research. Sebuah perangkat komputer terhubung dengan USRP melalui kabel *gigabit ethernet*, yang memastikan transfer data berkecepatan tinggi antara laptop dan perangkat USRP. Laptop akan menjalankan perangkat lunak GNU Radio, yang digunakan untuk mengontrol dan mengkonfigurasi perangkat USRP NI 2920 sesuai dengan kebutuhan penelitian. GNU Radio adalah sebuah toolkit yang fleksibel dan kuat untuk pengembangan aplikasi radio yang didefinisikan melalui perangkat lunak. Arsitektur sistem yang digunakan dalam penelitian ini direpresentasikan secara detail dalam Gambar 3.6, yang memberikan gambaran visual tentang bagaimana perangkat keras dan perangkat lunak berinteraksi dalam pengujian.



**Gambar 3. 6 Arsitektur Sistem Penelitian.**

Pada Gambar 3.7 menunjukkan skema implementasi sistem menggunakan *hardware* yang akan dibuat pada penelitian ini. Perancangan *hardware* terdiri dari beberapa alat seperti 2 buah USRP, 2 buah laptop dan kabel gigabit. Dengan demikian, perangkat saling dihubungkan. Pengujian dilakukan diruangan terbuka dengan kondisi terdapat banyak *obstacle* dan partikel di luar ruangan, sehingga mengakibatkan *fading*.



**Gambar 3. 7 Skema Implementasi *Hardware*.**

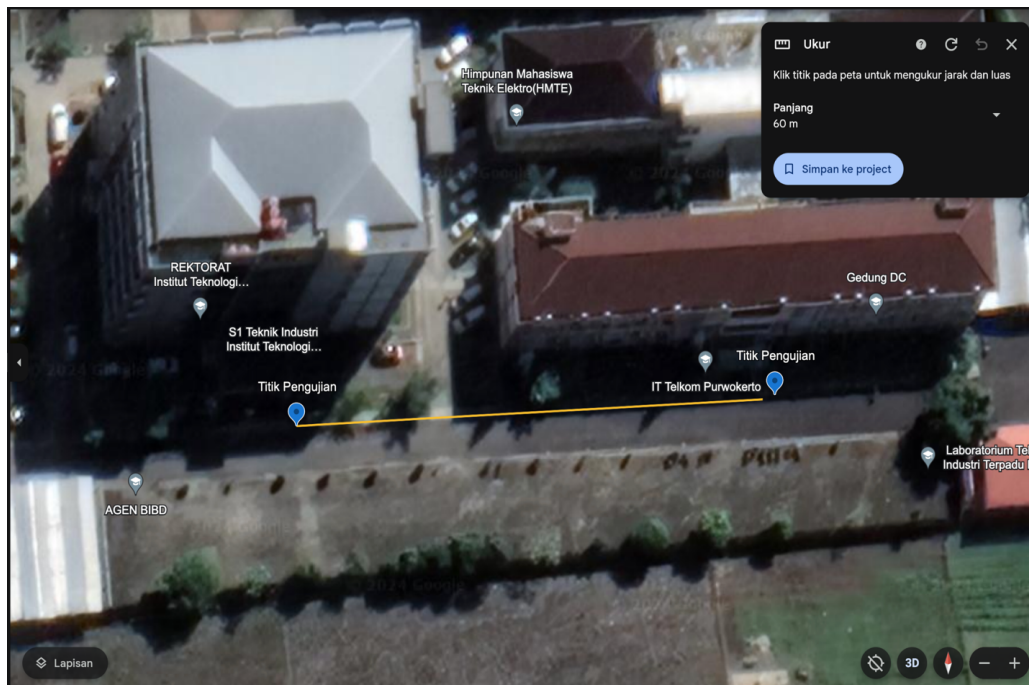
Salah satu perangkat USRP NI-2920 akan diletakkan didalam mobil sebagai *transmitter* yang terhubung dengan laptop yang menggunakan *software* GNU Radio.

Mobil ini akan berperan sebagai ambulans yang mengirimkan gambar untuk memberi tahu kendaraan lain untuk memberi jalan. USRP NI-2920 lainnya akan diletakkan juga didalam mobil sebagai *receiver* yang terhubung dengan laptop yang menggunakan *software* GNU Radio. Mobil ini akan berperan sebagai mobil yang ada disekitar ambulans yang menerima gambar untuk memberi jalan pada ambulans.

Pengujian dilakukan dengan mobil yang berperan sebagai pengirim dan penerima akan bergerak dengan kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam dan 30 km/jam. Pengujian dilakukan dengan bergerak berlawanan arah.

### 3.4.2 Lokasi Pengujian Sistem

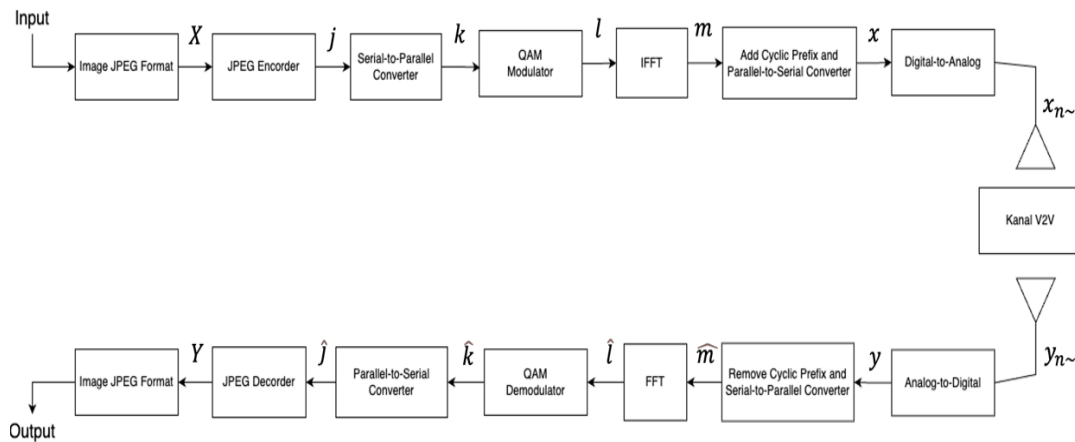
Pengujian pada penelitian ini dilakukan dilingkungan kampus IT Telkom Purwokerto, yaitu di depan gedung DC dan Gedung rektorat kampus IT Telkom Purwokerto (ITTP). Gambar 3.8 menunjukkan titik-titik pengujian lapangan yang didapatkan melalui *google earth* yang dimana terdapat 2 titik lokasi. Panjang titik lokasi pada pengirim dan penerima sejauh 60 m. Posisi titik lokasi *receiver* dan *transceiver* akan bergantian untuk menghemat waktu.



**Gambar 3. 8 Penempatan Titik Lokasi Pengujian Lapangan Melalui *Google Earth*.**

### 3.4.3 Pemodelan Sistem *Multicarrier* OFDM

Pada penelitian ini, akan mengacu pada blok diagram sistem OFDM yang direpresentasikan pada Gambar 3.9. Penjelasan blok-blok diagram yang ada pada Gambar 3.9 memiliki fungsi dan penjelasan masing-masing. Data *input* yang ada pada blok diagram mengacu pada format gambar yang akan dikirimkan yaitu menggunakan format *Join Photographic Experts Group* (JPEG). JPEG digunakan untuk citra dengan ukuran file kecil, namun tetap memberikan kualitas yang cukup bagus. Format ini cocok untuk citra fotografi dan dijadikan standar ISO IS-10918 pada tahun 1990. Data *input* yang akan digunakan direpresentasikan pada Gambar 3.10 dengan resolusi 1587x2245 atau berukuran 206 kilobyte.



**Gambar 3. 9 Blok Diagram Sistem OFDM.**

Pada proses JPEG *encoder* terbagi menjadi banyak blok diagram lagi yang memungkinkan format JPEG dapat dikompresi agar memudahkan proses pengiriman citra. Proses JPEG *encoder* dapat direpresentasikan pada Gambar 3.11.

1. Langkah pertama, yaitu memasukkan gambar yang ingin dikompresi dalam format *Red, Green and Blue* (RGB) seperti Gambar 3.10.
2. Langkah kedua format RGB tadi diubah ke dalam format lain, yaitu YcbCr. Di mana Y mewakili *luma* (kecerahan), Cb mewakili *chrominance blue* dan Cr mewakili *chrominance red*. RGB diubah ke YcbCr karena YCbCr memisahkan komponen luminasi dari komponennan warna (Cb dan Cr) yang memungkinkan pengkodean terpisah untuk meningkatkan efisiensi kompresi. Selanjutnya masing-

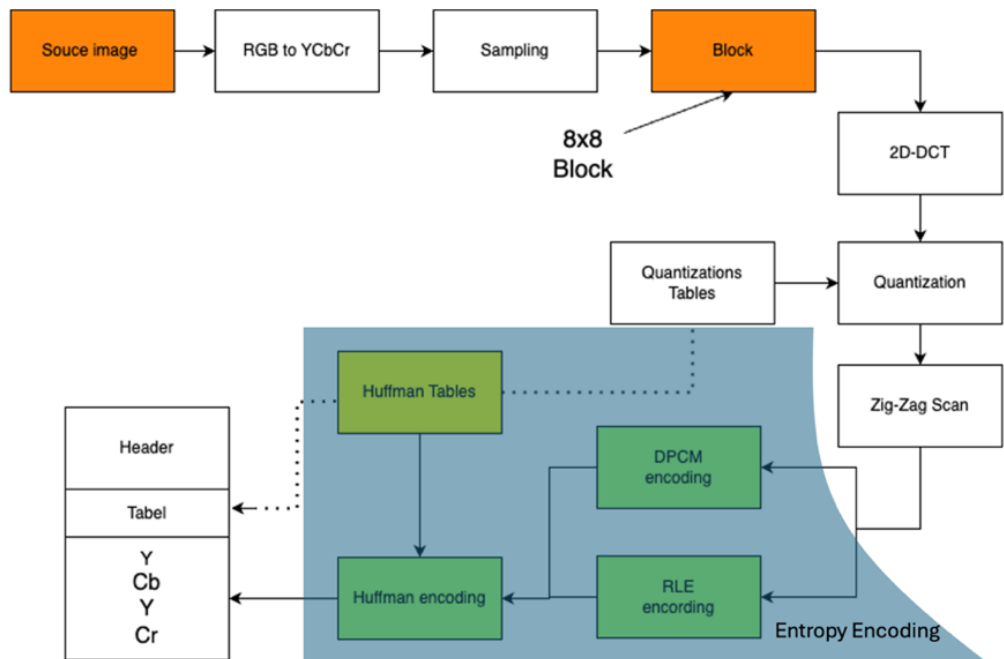
masing warna YCbCr memungkinkan kompresi warna yang lebih efisien karena komponen warna yang berkorelasi tinggi.



Gambar 3. 10 File Source Resolusi 1587 \* 2245.

3. Langkah ketiga, yaitu *sampling* di mana *sampling* mengurangi resolusi gambar dengan mengambil sampel piksel pada interval tertentu yang membantu mengurangi ukuran data gambar. Pada proses *sampling* di sini menggunakan 8x8 piksel.
4. Langkah keempat, yaitu *2D-Discrete Cosine Transform* (DCT) menerapkan transformasi DCT 2 dimensi pada setiap blok 8x8 piksel dan mengubah data spasial atau piksel menjadi data frekuensi.
5. Langkah kelima, yaitu *Quantization* yang mana membagi nilai koefisien DCT dengan nilai pada *quantization tables*. Hal ini membantu mengurangi *bit rate* dan meningkatkan efisiensi kompresi. *Quantization tables* nantinya menyimpan nilai *quantization* untuk koefisien DCT dan nilai *quantization* menentukan tingkat kompresi.
6. Langkah keenam, yaitu *zig-zag scan* yang mengurutkan koefisien DCT dalam pola zig-zag hal ini membantu meningkatkan efisiensi pengkodean *entropy*.
7. Langkah ketujuh, merupakan *entropy encoding* yang menerapkan teknik pengkodean *entropi* seperti *huffman encoding* atau *Run-Length Encoding* (RLE) untuk mengompresi data *quantized*. Teknik ini membantu mengurangi bitrate dan meningkatkan efisiensi kompresi. Di mana awalnya terbagi menjadi dua yaitu *Differential Pulse Code Modulation* (DPCM) untuk memprediksi nilai koefisien DCT berdasarkan koefisien sebelumnya dan RLE untuk penyimpanan nilai piksel dan jumlah piksel dengan nilai tersebut sebagai pasangan. Setelah melewati DPCM dan RLE akan melakukan *huffman encoding*. *Huffman encoding* mengkodekan data dalam bentuk bit di mana data dengan frekuensi tinggi akan diubah menjadi rangkaian kode bit yang pendek. Sedangkan data dengan frekuensi rendah akan dikodekan dengan rangkaian kode bit yang lebih panjang. Nantinya kode *huffman* disimpan ke *huffman tables* untuk membantu mengoptimalkan proses pengkodean *entropi*.
8. Langkah delapan, yaitu *huffman tables* akan mengirimkan kode ke tabel untuk data file citra dan komponen *luma* dan *chrominance* yang dihasilkan setelah proses kompresi akan masuk ke data citra.



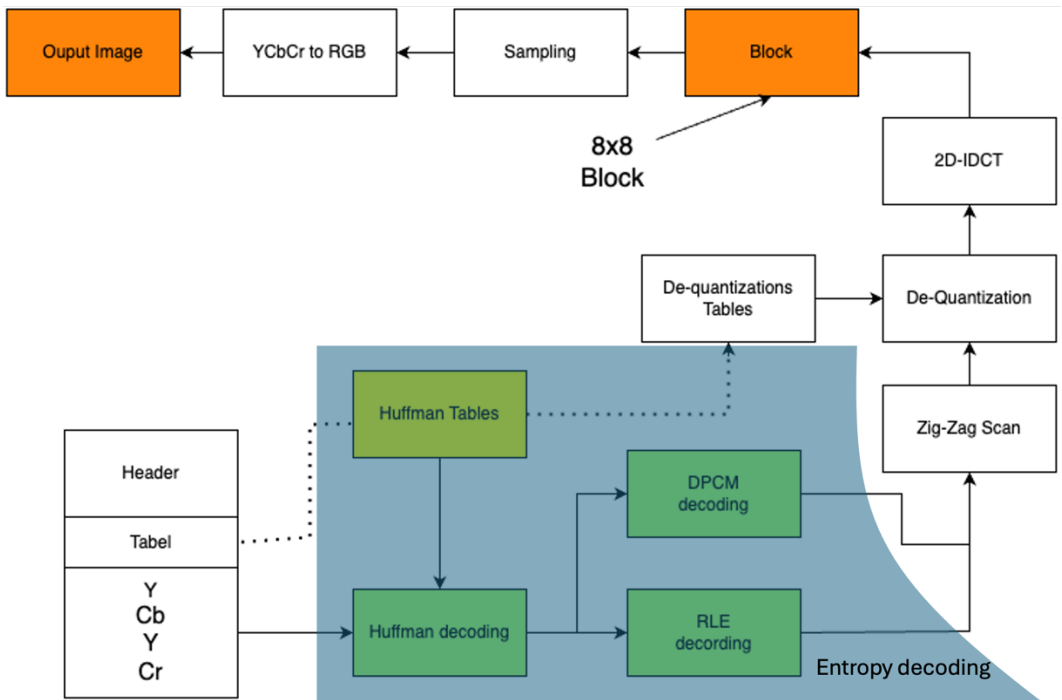


**Gambar 3. 11 Blok Diagram Encoder.**

Blok selanjutnya dari Gambar 3.11 *Serial-to-parallel converter* yaitu mengubah data digital serial menjadi data paralel hal ini diperlukan untuk memproses paralel dalam blok selanjutnya. QAM modulator memetakan data digital ke simbol kompleks pada konstelasi QAM. IFFT Mengubah sinyal analog dari domain frekuensi digital ke domain waktu analog. IFFT menghasilkan sinyal frekuensi radio (RF) yang siap untuk ditransmisikan. Blok selanjutnya menambahkan *Cyclic Prefix* (CP) dan mengubah paralel menjadi serial. Menambahkan CP kesinyal RF untuk membantu mengatasi intersimbol interferensi (ISI) dan meningkatkan performa sistem, pada blok yang sama mengubah data paralel menjadi serial. *Digital-to-Analog Converter* (DAC) mengubah sinyal digital dari IFFT kesinyal analog kontinu, sinyal analog ini kemudian ditransmisikan melalui antena.

Setelah melewati kanal V2V, data akan dikembalikan ke bentuk paralel. Lalu akan mengikuti blok bagian penerima ada Gambar 3.11. *Analog-to-Digital Converter* (ADC) mengubah sinyal yang diterima yang daritadinya analog menjadi sinyal digital. *Remove cyclic prefix* menghapus CP dari sinyal digital. *Fast Fourier Transform* (FFT) mengubah sinyal digital domain waktu analog ke domain frekuensi digital yang

menghasilkan data digital paralel. Blok selanjutnya QAM Demodulator, QAM mendemodulasi simbol kompleks pada konstelasi QAM menjadi data digital *parallel-to-serial converter* mengubah data digital paralel menjadi data digital serial. JPEG *decoder* mendekompresi data digital yang diterima menggunakan algoritma JPEG seperti halnya JPEG *encoder* yang membuat hasil data digital yang sama dengan data *input* pada bagian pengirim. JPEG *decoder* dapat direpresentasikan seperti Gambar 3.12. Output yang akan dihasilkan merupakan data digital yang telah diuraikan dan siap untuk digunakan.



**Gambar 3. 12 Blok Diagram *Decoder* JPEG.**