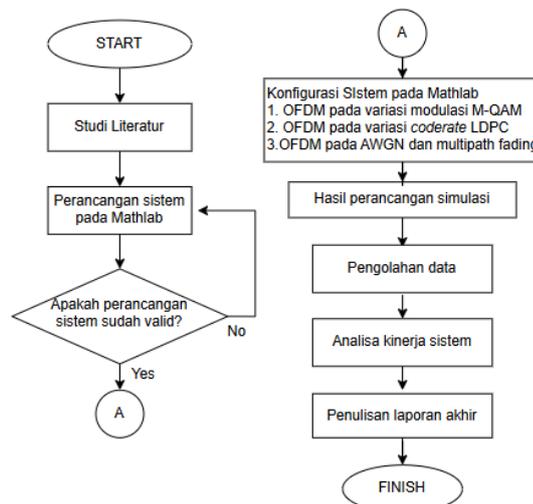


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data simulasi. Penggunaan metode simulasi untuk mengevaluasi performa sistem OFDM dengan modulasi M-QAM dan pengkodean kanal LDPC. Evaluasi dilakukan pada kanal AWGN serta *multipath fading* guna mengkritisi kebutuhan komunikasi 5G. Berikut merupakan tahapan pada penelitian ini yang tertera pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

Gambar 3.1 menggambarkan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini. Tahapan yang pertama yaitu studi literatur yang bertujuan untuk mencari dijadikan teori pendukung untuk menganalisis hasil simulasi OFDM, M-QAM, pengkodean LDPC, kanal AWGN dan *multipath fading* untuk kebutuhan komunikasi 5G. Selanjutnya masuk ke tahapan perancangan sistem pada MATLAB yang bertujuan untuk merancang dan menentukan parameter yang akan digunakan pada MATLAB sesuai dengan kebutuhan sistem. Perancangan ini membutuhkan proses validasi apakah perancangan sistem tersebut telah sesuai dengan kebutuhan dari sistem komunikasi 5G.

Perancangan sistem yang sudah tervalidasi selanjutnya masuk ke tahapan konfigurasi sistem pada MATLAB. Pada penelitian ini menggunakan tiga skenario pengujian sehingga membutuhkan tiga konfigurasi sistem. Konfigurasi ini mengubah hasil dari perancangan sistem yang telah dibuat menjadi uraian *syntax* MATLAB untuk disimulasikan. Dari konfigurasi maka akan keluar hasil simulasi berupa data grafik BER terhadap SNR dan grafik PAPR terhadap CCDF. Hasil data simulasi tersebut akan diolah dan dianalisis sesuai dengan teori dasar yang telah dicari pada saat studi literatur. Dari hasil analisis tersebut akan disajikan dalam penulisan laporan akhir agar memudahkan penyusunan analisis yang terstruktur.

### 3.2 Analisis Kebutuhan Penelitian

Kebutuhan penelitian ini adalah penggunaan *software* yaitu MATLAB R2024a. *Software* ini memiliki sejumlah fitur yang dapat digunakan dalam melakukan pemrograman dan visualisasi. Salah satu fitur *software* MATLAB R2024a yang digunakan pada penelitian ini adalah *script* untuk menyajikan sistem OFDM melalui *syntax* MATLAB.

Pada penelitian ini terdapat kebutuhan tambahan dalam membentuk sistem OFDM dan menyusun *syntax* MATLAB pada *script*. Kebutuhan penelitian pertama yang digunakan pada *software* MATLAB yaitu fitur *signal processing toolbox*. Fitur ini membantu penelitian dalam mengkonfigurasi sistem transmisi OFDM pada MATLAB. Kebutuhan selanjutnya adalah fitur *matrix operation*. Fitur ini membantu penelitian dalam membentuk *matrix* bit input, *matrix parity check* dan *matrix Generator* untuk bit input serta teknik pengkodean LDPC.

Kebutuhan ketiga adalah fitur *bitwise operation*. Fitur ini membantu penelitian dalam pengolahan bit dalam tahapan bit input, modulasi, dan pengkodean LDPC. Selanjutnya kebutuhan terakhir adalah fitur *graphic visualization*. Fitur ini membantu penelitian dalam memvisualisasikan hasil transmisi OFDM berupa grafik BER terhadap SNR dan grafik PAPR terhadap CCDF. Berdasarkan grafik tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data untuk menentukan sistem transmisi yang paling optimal dalam komunikasi 5G.

### 3.3 Skenario Pengujian

Skenario pengujian yang digunakan dalam penelitian ini terdapat tiga skenario pengujian. Pengujian tersebut terkait kinerja sistem transmisi OFDM dengan variasi penggunaan teknik modulasi M-QAM, variasi *code rate* teknik pengkodean LDPC, dan variasi penggunaan kanal transmisi. Berikut merupakan ketiga skenario pengujian pada penelitian ini.

#### 3.3.1 Skenario Pengujian 1

Skenario Pengujian 1 menguji sistem transmisi OFDM dengan menggunakan tiga variasi teknik modulasi yaitu 16-QAM, 64 QAM, dan 256-QAM. Sistem OFDM menggunakan pengkodean kanal LDPC dengan *code rate* =  $\frac{1}{2}$  dan kanal AWGN. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis sistem mana yang dapat menghasilkan kinerja yang baik untuk sistem komunikasi 5G dan pengaruh penggunaan variasi teknik modulasi M-QAM pada sistem. Berikut merupakan tabel skenario pengujian 1 tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Skenario Pengujian 1

Sistem Transmisi	Teknik Modulasi	Teknik Pengkodean	Kanal
OFDM	16-QAM	LDPC <i>code rate</i> = $\frac{1}{2}$	AWGN
	64-QAM		
	256-QAM		

#### 3.3.2 Skenario Pengujian 2

Skenario Pengujian 2 menguji sistem transmisi OFDM dengan menggunakan tiga variasi *code rate* teknik pengkodean kanal yaitu pengkodean LDPC dengan *code rate* =  $\frac{1}{2}; \frac{3}{4}; \frac{8}{9}$ . Kemudian untuk sistem ini menggunakan teknik modulasi 64-QAM dan kanal AWGN. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis sistem mana yang dapat menghasilkan kinerja yang baik untuk sistem komunikasi 5G dan pengaruh penggunaan variasi *code rate* teknik pengkodean LDPC pada sistem. Berikut merupakan tabel skenario pengujian 2 tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Skenario Pengujian 2

Sistem Transmisi	Teknik Modulasi	Teknik Pengkodean		Kanal
OFDM	64-QAM	LDPC	$R = \frac{1}{2}$	AWGN
			$R = \frac{3}{4}$	
			$R = \frac{8}{9}$	

### 3.3.3 Skenario Pengujian 3

Skenario Pengujian 3 menguji sistem transmisi OFDM dengan variasi kanal transmisi yaitu kanal AWGN dan *multipath fading*. Kemudian untuk sistem ini menggunakan teknik modulasi 64-QAM dan pengkodean kanal LDPC dengan *code rate* =  $\frac{1}{2}$ . Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis sistem mana yang dapat menghasilkan kinerja yang baik untuk sistem komunikasi 5G dan pengaruh penggunaan variasi kanal pada sistem. Berikut merupakan tabel skenario pengujian 3 tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Skenario Pengujian 3

Sistem Transmisi	Teknik Modulasi	Teknik Pengkodean	Kanal
OFDM	64-QAM	LDPC <i>code rate</i> = $\frac{1}{2}$	AWGN
			<i>Multipath fading</i>

## 3.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan sebuah fondasi kuat dalam pengembangan suatu sistem. Perancangan ini berfungsi untuk merancang sistem agar memiliki hasil yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Kebutuhan untuk perancangan sistem penelitian ini diantaranya bit input, modulasi dan demodulasi, penggunaan LDPC *encoding* dan *decoding*, penggunaan kanal AWGN dan *multipath fading*, dan transmisi OFDM. Berikut merupakan perancangan sistem transmisi yang dibutuhkan untuk proses transmisi komunikasi 5G.

### 3.4.1 Perancangan Sistem Transmisi

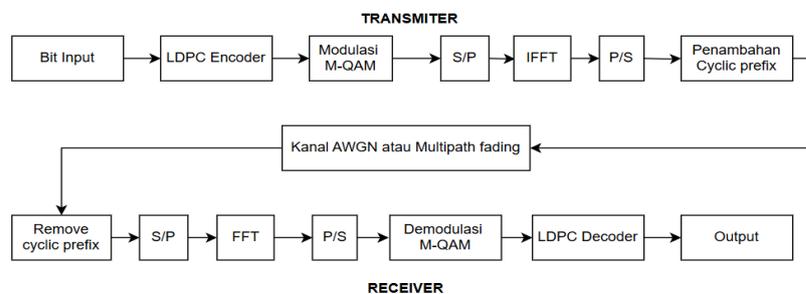
Penelitian ini menggunakan sistem transmisi OFDM. Parameter perancangan sistem untuk transmisi OFDM mengacu pada standar 3GPP TS 38.211 versi 16.2.0 sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Perancangan Sistem Transmisi

Skema Multicarrier	OFDM
FFT size	4096
Subband size	128 subcarrier
Number of subbands	25 subbands
Cyclic Prefix length	288 sample
Subband Offset	32 subcarrier
Total Subcarrier	Subband size $\times$ Number of subbands $128 \times 25 = 3200$ subcarrier

### 3.4.2 Perancangan Sistem Komunikasi OFDM

Berikut ini adalah perancangan sistem OFDM yang diterapkan dalam penelitian ini sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.2.



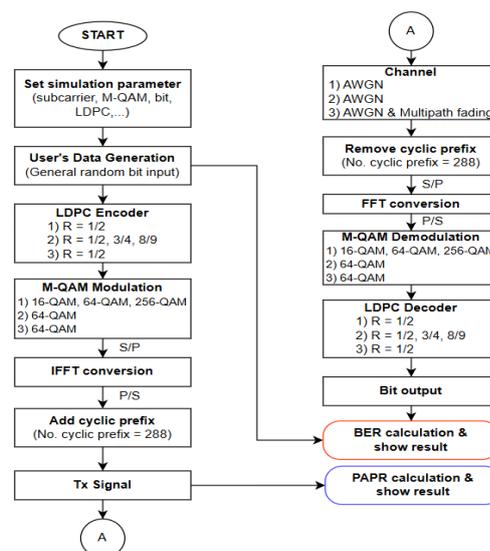
Gambar 3.2 Perancangan Sistem Komunikasi OFDM

Gambar 3.2 menunjukkan model sistem OFDM yang dimulai pada bit input yang masuk ke dalam sistem berupa general random bit. Bit input akan masuk pada LDPC encoder yang berfungsi untuk menambahkan redundansi pada bit. Bit yang telah ditambahkan redundansi selanjutnya akan dimodulasi oleh M-QAM yang berfungsi untuk memetakan perubahan sejumlah bit menjadi sinyal analog. Sinyal analog akan dirubah dari serial menjadi parallel. Setelah sinyal diubah menjadi parallel selanjutnya masuk kepada tahapan IFFT yang berfungsi untuk mengubah

sinyal dari domain frekuensi ke domain waktu atau berupa sinyal diskrit. Ukuran FFT yang digunakan adalah 4096. Sinyal diskrit tersebut diubah dari paralel menjadi serial.

Bit data keluaran dari serial akan terdapat tambahan *cyclic prefix* sebesar 288. Penambahan *cyclic prefix* berfungsi untuk mengurangi efek ISI selama proses transmisi pada kanal. Bit data ini ditransmisikan melalui kanal. Jumlah iterasi kanal yang digunakan adalah 10. Setelah melalui kanal, bit data ini akan masuk pada penghapusan *cyclic prefix*. Selanjutnya sinyal akan masuk ke tahapan FFT yang berfungsi untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Sinyal domain frekuensi dari FFT akan didemodulasi oleh M-QAM. Sinyal yang telah didemodulasi masuk ke tahapan LDPC Decoder. LDPC Decoder bertujuan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan menggunakan *normalize min-sum* algoritma dengan iterasi decoding sebanyak 10 kali. Hasil dari LDPC Decoder disajikan berupa visualisasi grafik BER terhadap SNR dan grafik PAPR terhadap CCDF.

Blok diagram sistem OFDM yang telah ditunjukkan pada Gambar 3.2 akan digunakan oleh ketiga skenario pengujian sistem. Pengujian ketiga skenario membutuhkan blok diagram alir untuk konfigurasi syntax MATLAB. Berikut merupakan blok diagram alir dari sistem OFDM yang akan diuji pada *software* MATLAB R2024a seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok Diagram Alir Sistem OFDM pada MATLAB

### 3.4.3 Perancangan Teknik Modulasi M-QAM

Penelitian ini menerapkan teknik modulasi M-QAM. Berikut ini adalah parameter perancangan teknik modulasi M-QAM tertera pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Parameter Perancangan Teknik Modulasi M-QAM

Modulasi	Jumlah Bit Informasi
16-QAM	$k_1 = 4$
64-QAM	$k_2 = 6$
256-QAM	$k_3 = 8$

### 3.4.4 Perancangan Teknik Pengkodean LDPC

Teknik pengkodean kanal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu teknik LDPC. Berikut merupakan parameter perancangan teknik pengkodean LDPC sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Parameter Perancangan Teknik Pengkodean LDPC

Parameter	Nilai
<i>Code rate</i>	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{8}{9}$
Algoritma	Algoritma <i>norm min-sum</i>
Iterasi <i>decoding</i>	10
Subcarrier 1 untuk $R = \frac{1}{2}$	$total\ subcarrier \times\ coderate\ 1$ $3200 \times \frac{1}{2} = 1600$
Subcarrier 2 untuk $R = \frac{3}{4}$	$total\ subcarrier \times\ coderate\ 2$ $3200 \times \frac{3}{4} = 2400$
Subcarrier 3 untuk $R = \frac{8}{9}$	$total\ subcarrier \times\ coderate\ 3$ $3200 \times \frac{8}{9} = 2816$

### 3.4.5 Perancangan Bit Input

Bit input ini memiliki keterkaitan dengan parameter sistem transmisi, teknik modulasi, dan pengkodean kanal. Berikut merupakan parameter yang dibutuhkan pada sistem OFDM sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Parameter Perancangan Bit Input

Pengujian	Parameter	Notasi	Nilai
Skenario Pengujian 1	Jumlah bit informasi	$k_{16-QAM}$	$k_1 \times subcarrier\ 1$ $4 \times 1600 = 6400\ bit$
		$k_{64-QAM}$	$k_2 \times subcarrier\ 1$ $6 \times 1600 = 9600\ bit$
		$k_{256-QAM}$	$k_3 \times subcarrier\ 1$ $8 \times 1600 = 12800\ bit$
	Panjang <i>codeword</i>	$n_{16-QAM}$	$k_{16-QAM} : code\ rate\ 1$ $6400 : \frac{1}{2} = 12800\ bit$
		$n_{64-QAM}$	$n_{64-QAM} \times code\ rate\ 1$ $9600 : \frac{1}{2} = 19200\ bit$
		$n_{256-QAM}$	$n_{256-QAM} \times code\ rate\ 1$ $12800 : \frac{1}{2} = 25600\ bit$
	Bit <i>parity</i>	$p_{16-QAM}$	$n_{16-QAM} - k_{16-QAM}$ $12800 - 6400 = 6400\ bit$
		$p_{64-QAM}$	$n_{64-QAM} - k_{64-QAM}$ $19200 - 9600 = 9600\ bit$
		$p_{256-QAM}$	$n_{64-QAM} - k_{64-QAM}$ $25600 - 12800 = 12800\ bit$
Skenario Pengujian 2	Jumlah bit informasi	$k_{64-QAM(R1)}$	$k_2 \times subcarrier\ 1$ $6 \times 1600 = 9600\ bit$
		$k_{64-QAM(R2)}$	$k_2 \times subcarrier\ 2$ $6 \times 2400 = 14400\ bit$
		$k_{64-QAM(R3)}$	$k_2 \times subcarrier\ 3$ $6 \times 2816 = 16896\ bit$
	Panjang <i>code word</i>	$n_{64-QAM(R1)}$	$k_{64-QAM(R1)} : code\ rate\ 1$ $9600 : \frac{1}{2} = 19200\ bit$

Pengujian	Parameter	Notasi	Nilai
		$n_{64-QAM(R2)}$	$k_{64-QAM(R2)} : \text{code rate 2}$ $14400 : \frac{3}{4} = 19200 \text{ bit}$
		$n_{64-QAM(R3)}$	$k_{64-QAM(R3)} : \text{code rate 3}$ $16896 : \frac{8}{9} = 19200 \text{ bit}$
	Bit Parity	$p_{R1} (\frac{1}{2})$	$n_{64-QAM(R1)} - k_{64-QAM(R1)}$ $19200 - 9600 = 9600 \text{ bit}$
		$p_{R2} (\frac{3}{4})$	$n_{64-QAM(R2)} - k_{64-QAM(R2)}$ $19200 - 14400 = 4800 \text{ bit}$
		$p_{R3} (\frac{8}{9})$	$n_{64-QAM(R3)} - k_{64-QAM(R3)}$ $19200 - 16896 = 2304 \text{ bit}$
	Skenario Pengujian 3	Jumlah bit informasi	$k_{64-QAM(R1)}$
Panjang <i>codeword</i>		$n_{64-QAM(R1)}$	$k_{64-QAM(R1)} : \text{code rate 1}$ $9600 : \frac{1}{2} = 19200 \text{ bit}$
Bit Parity		$p_{R1} (\frac{1}{2})$	$n_{64-QAM(R1)} - k_{64-QAM(R1)}$ $19200 - 9600 = 9600 \text{ bit}$

### 3.4.6 Perancangan Model Kanal

Penelitian ini menggunakan dua model kanal yaitu kanal AWGN dan *Multipath fading*. Berikut merupakan perancangan model kanal yang akan digunakan dalam sistem transmisi OFDM:

#### A. Kanal AWGN

Model kanal AWGN yang digunakan pada penelitian ini tertera pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Parameter Perancangan Kanal AWGN

Parameter	Nilai
SNR (dB)	0 - 35
Iterasi Kanal	10

### B. Kanal *Multipath fading*

Model kanal *Multipath fading* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan penerapan pada area urban yang tertera pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Parameter Perancangan Kanal *Multipath fading*

Parameter	Nilai
SNR (dB)	0 - 35 dB
Iterasi Kanal	10
Distribusi	<i>Rayleigh fading</i>
<i>Doppler shift</i> (Hz)	100
<i>Path Delay</i> (ns)	[0 50 120 200 300]
<i>Average Path gains</i> (dB)	[0 -1 -3 -5 -8]
<i>Sample Rate</i> (MHz)	30,72 MHz
<i>Doppler shift</i> (Hz)	<i>Minimum Mean Square Error (MMSE)</i>

### 3.5 Analisis data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil simulasi sistem transmisi OFDM dengan modulasi M-QAM dan pengkodean LDPC pada kanal AWGN dan *multipath fading*. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik BER terhadap SNR dan grafik PAPR terhadap CCDF. Untuk mengevaluasi kinerja sistem OFDM dari grafik BER terhadap SNR memerlukan perbandingan nilai SNR pada tingkat nilai BER yang sama. Kemudian untuk grafik PAPR terhadap CCDF juga memerlukan peninjauan peluang CCDF yang sama untuk membandingkan nilai PAPR.