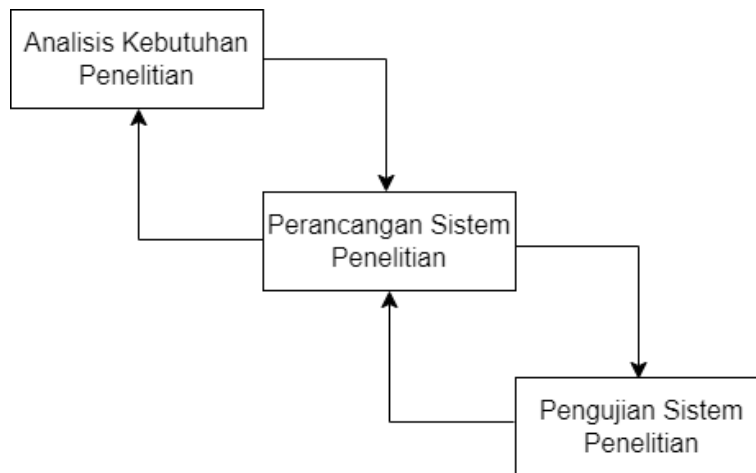


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Setelah melakukan perumusan masalah, selanjutnya adalah membuat desain penelitian yang dapat memberikan gambaran dan mempermudah dalam melakukan penelitian. Jenis penelitian yang digunakan adalah menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan menggunakan Metode *Waterfall* yang dimodifikasi. Metode *Waterfall* atau model air terjun adalah metode dengan cara pengembangan linier dan berurutan (Hasanah, dkk., 2020).

Pada penelitian ini, metode terdiri dari tiga fase dan masing-masing fase didefinisikan berdasarkan tugas dan tujuan yang berbeda. Setelah fase selesai, langkah penelitian selanjutnya apabila dibutuhkan akan mengikuti dan hasil dari fase sebelumnya mengalir ke fase berikutnya. Gambar 3.1 adalah ilustrasi desain pada penelitian ini.



Gambar 3.1 Flowchart Desain Penelitian

Setiap fase pada Gambar 3.1 dijelaskan pada sub bab 3.2, 3.3, dan 3.4.

3.2 Analisis Kebutuhan Penelitian

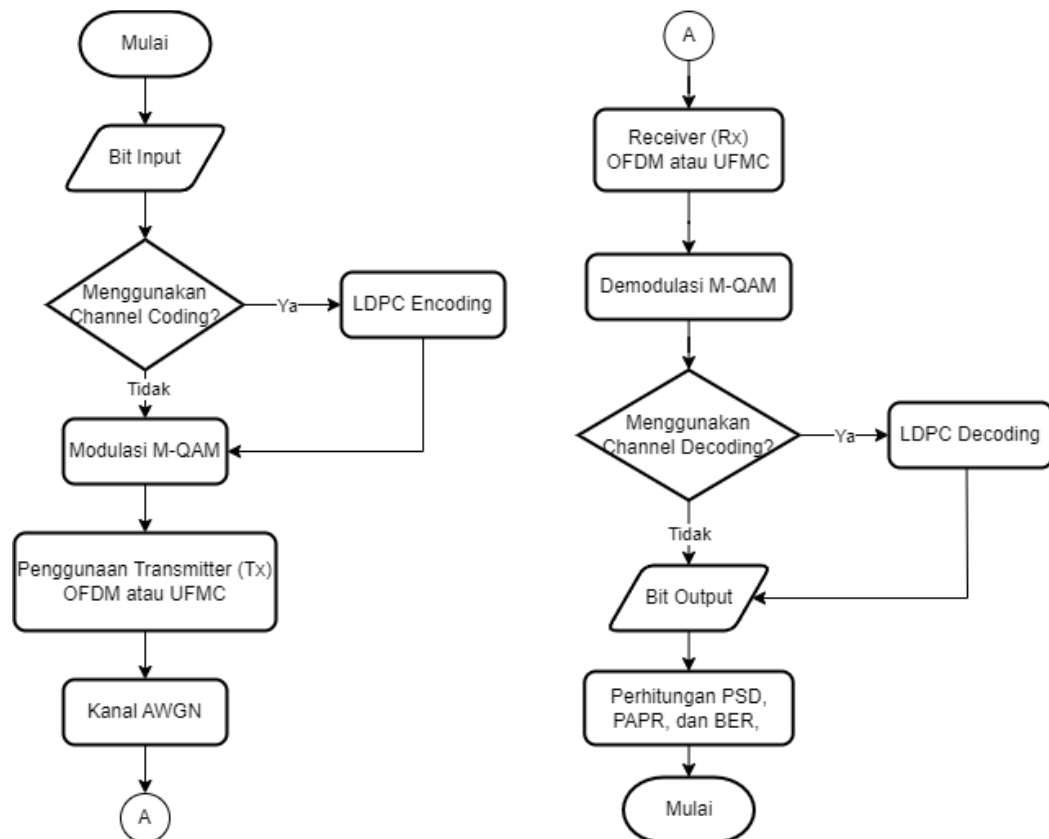
Fase ini bertujuan untuk mengumpulkan kebutuhan penelitian secara lengkap. Beberapa instrumen penunjang yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini, yaitu *software* MATLAB R2023a *Licensed* dan sebuah perangkat keras dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Processor : AMD Athlon Silver 3050U with Radeon Graphics (2.3 GHz – 3.2 GHz, 1 MB L2 cache, 2 cores)
- RAM : 4 GB DDR4
- HDD : 512 SSD
- OS Windows 10

Instrumen tersebut digunakan sebagai media untuk menjalankan simulasi sistem komunikasi 5G dengan modulasi 64-QAM dan 256-QAM pada sistem transmisi UFMC dan OFDM melalui kanal AWGN tanpa dan dengan menggunakan pengkodean LDPC.

3.3 Perancangan Sistem

Fase ini bertujuan untuk merancang sistem yang terdiri dari *generate random bits* sebagai masukan, *encoding* dan *decoding*, modulasi dan demodulasi pada sistem transmisi UFMC dan OFDM melalui kanal AWGN, dan perhitungan PAPR terhadap CCDF dan BER terhadap SNR. Perancangan sistem ini dilakukan sesuai prosedur yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem Penelitian

3.3.1 Konfigurasi Sistem

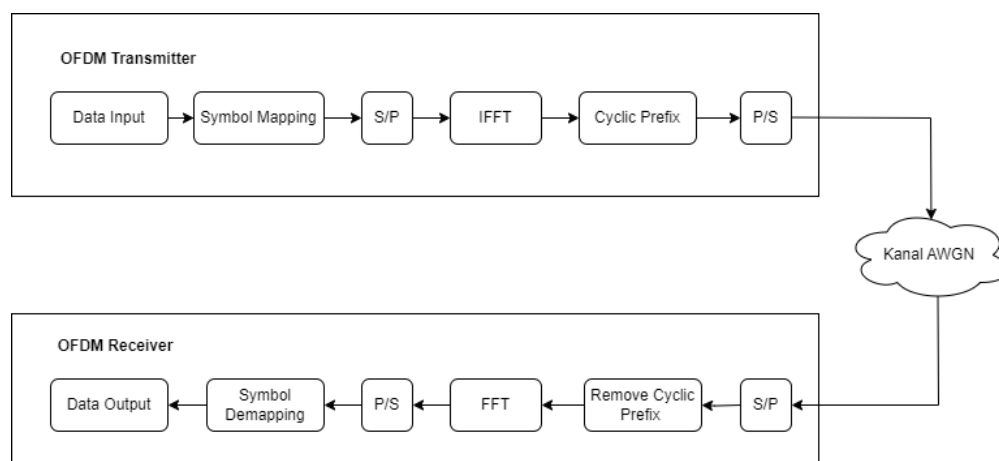
Terdapat dua konfigurasi sistem yang akan dilakukan pada penelitian ini, yaitu konfigurasi Skema *Multicarrier* OFDM dan UFMC berdasarkan standar 3GPP TS 38.211 *version* 16.2.0 untuk Sistem Komunikasi 5G, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Parameter Rancangan Skema *Multicarrier* OFDM dan UFMC

Skema <i>Multicarrier</i>	OFDM	UFMC
<i>FFT size</i>	4096	4096
<i>Subband size</i>	3200	128
<i>Number of Subbands</i>	1	25
<i>CP-length</i>	288	-
<i>Subband Offset</i>	32	32
<i>FIR filter type</i>	-	<i>Chebyshev</i> dengan <i>side lobe attenuation</i> sebesar 40 dB
<i>Filter-length</i>	-	128

3.3.2 Konfigurasi Sistem Komunikasi pada OFDM

Gambar 3.3 menjelaskan diagram alir sistem komunikasi dengan OFDM pada pengirim dan penerima pada penelitian ini.



Gambar 3.3 Blok Konfigurasi Sistem Komunikasi dengan OFDM

Berikut ini penjelasan mengenai masing-masing blok konfigurasi sistem komunikasi dengan OFDM pada Gambar 3.3.

3.3.2.1 OFDM Transmitter

a. Data Input

Input data merupakan masukan data generator dengan bit-bit yang dibangkitkan bernilai 0 dan 1. Bit input pada penelitian ini dihasilkan dari random bit pada Matlab dengan *syntax* `randi`.

b. Symbol Mapping (Modulasi 64-QAM dan 256-QAM)

Bagian ini merupakan tahap pemetaan aliran bit-bit ke dalam koordinat konstelasi sinyal biner menggunakan modulasi M -QAM satu per satu dan kemudian dikirim ke blok selanjutnya. Modulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah modulasi 64-QAM dan 256-QAM. Fungsi MATLAB untuk Modulasi QAM yang digunakan, ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2
Modulasi QAM

Modulasi QAM	<code>qammod</code>
<code>symbolsIn</code>	Simbol transmisi yang termodulasi
<code>bitsIn</code>	Data biner
M	Urutan modulasi
<code>InputType, bit</code>	Jenis <i>input</i> dalam bentuk bit

c. Serial to Parallel (S/P)

Blok S/P berfungsi untuk mengubah *bit stream* dalam bentuk serial menjadi paralel. Proses ini dilakukan untuk mempercepat pengolahan data.

d. IFFT

IFFT berfungsi menghasilkan simbol OFDM dengan pengalokasian frekuensi yang saling *orthogonal*. Fungsi MATLAB untuk modulasi OFDM ini ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3
Modulasi OFDM

Modulasi OFDM	ofdmmod
Parameter	
numFFT	Bilangan positif untuk menentukan ukuran FFT atau jumlah total subcarrier dalam OFDM simbol.
t×Sig_OFDM	Penyisipan <i>Cyclic Prefix</i> dan operasi IFFT.

e. Add Cyclic Prefix

Sinyal dari IFFT selanjutnya masuk ke dalam *Cyclic Prefix* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya interferensi antar simbol. Fungsi MATLAB untuk *Add Cyclic Prefix* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Add Cyclic Prefix

Modulasi OFDM	ofdmmod
Parameter	
$cpLen = \text{ceil}(288/4096 * numFFT)$	Panjang <i>Cyclic Prefix</i> ditambahkan ke simbol OFDM.

f. Parallel to Serial (P/S)

Blok P/S ini digunakan untuk mengkonversi kembali simbol-simbol OFDM ke dalam bentuk serial yang selanjutnya akan dikirim melalui kanal yang tersedia. Pada penelitian ini menggunakan kanal AWGN.

3.3.2.2 OFDM Receiver

a. Serial to Parallel (S/P)

Informasi bentuk serial sebelumnya, kemudian dikonversikan kembali menjadi bentuk paralel untuk mempercepat *data rate*.

b. *Remove Cyclic Prefix*

Tahapan ini dilakukan untuk menghilangkan *Cyclic Prefix* di bagian akhir simbol OFDM agar data asli yang dikirimkan sampai ke penerima tanpa adanya tambahan data yang tidak penting. Fungsi MATLAB untuk *Remove Cyclic Prefix* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5
Remove Cyclic Prefix

Demodulasi OFDM	ofdmmod
Parameter	
cpLen	Panjang <i>Cyclic Prefix</i> yang akan dihapus dari simbol OFDM

c. FFT

Tahapan FFT digunakan sebagai pengurai simbol OFDM dengan memisahkan antara frekuensi *carrier* dengan simbol OFDM dan sinyal diubah kembali ke dalam domain frekuensi. Fungsi MATLAB untuk demodulasi OFDM yang digunakan terdapat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6
Demodulasi OFDM

Demodulasi OFDM	ofdmmod
Parameter	
numFFT	Bilangan positif untuk menentukan ukuran FFT atau jumlah total subcarrier dalam OFDM simbol.
rxSig_OFDM_EQ	Penghapusan awalan siklik dan operasi FFT.

d. *Parallel to Serial (P/S)*

Tahap ini berfungsi untuk mengubah sinyal menjadi bentuk serial kembali, sehingga penerima dapat menerima informasi dari pengirim dengan baik dan teratur.

e. *Symbol Demapping (Demodulasi 64-QAM dan 256-QAM)*

Pada tahapan ini sinyal informasi dipisahkan dari sinyal pembawanya, sehingga keluaran dari tahapan ini nantinya berupa bit kembali. Fungsi MATLAB untuk demodulasi 64-QAM dan 256-QAM yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7
Demodulasi QAM

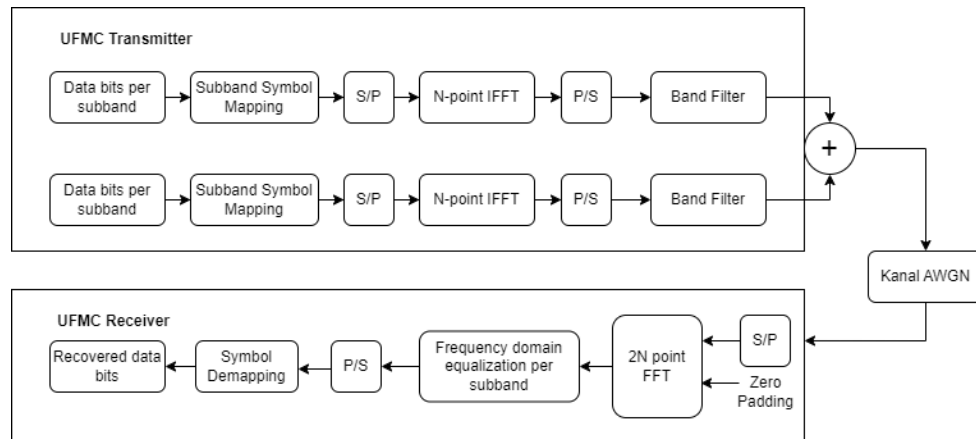
Demodulasi QAM	qamdemod
<code>rxBits</code>	Simbol penerimaan yang didemodulasi
<code>rxSim_OFDM_EQQ</code>	Data biner
M	Urutan modulasi
<code>OutputType, bit</code>	Jenis <i>output</i> dalam bentuk bit

f. *Output Data*

Output data merupakan bit yang diterima pada sisi penerima.

3.3.2 Konfigurasi Sistem Komunikasi pada UFMC

UFMC memiliki prinsip kerja dengan membagi data input (*data stream*) menjadi *sub-streams* yang berbeda, sehingga UFMC mampu pengurangan emisi band dan sinkronisasi frekuensi waktu dengan lebih baik. Gambar 3.4 menjelaskan diagram alir sistem UFMC pada pengirim dan penerima yang pada penelitian ini.



Gambar 3.4 Blok Konfigurasi Sistem dengan UFMC

Proses transmisi data dengan UFMC ini secara rinci terdiri dari beberapa blok tahapan, yaitu modulasi M -QAM, konverter S/P, IFFT, band Filter, kanal AWGN, dan P/S. Dimulai dari data input berupa deretan bit-bit serial yang dikonversi oleh konverter S/P. Sementara, pada proses penerima yang merupakan kebalikan dari blok pengirim, di mana pada blok penerima sinyal yang telah ditransmisikan diproses melalui FFT hingga dikonversi melalui konverter P/S, sehingga informasi dapat diterima dengan baik.

Berbeda dengan OFDM, UFMC tidak menggunakan *Cyclic prefix*, tetapi menggunakan filter per *sub-band* tambahan, sehingga mengurangi tingkat *spectral side lobe* di luar *sub-band*. Total *bandwidth* pun dibagi menjadi beberapa *sub-band*. Di mana setiap *sub-band* dapat dibagi lagi menjadi beberapa *sub-carrier*.

Fungsi MATLAB untuk parameter skema modulasi UFMC, ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8

Fungsi MATLAB dengan Parameter untuk Skema Modulasi UFMC

Parameter	
numFFT	Jumlah poin FFT
subbandSize	Ukuran subband
numSubbands	Jumlah poin Subband, dimana besarnya harusnya $\text{numSubbands} * \text{subbandSize} \leq \text{numFFT}$
Design parameter Dolph-Chebyshev window	

filterLen	Panjang filter
slobeAtten	Nilai <i>attenuation slope</i>
prototypeFilter	chebwin (filterLen, slobeAtten);

3.3.3 Model Kanal

Model Kanal pada penelitian ini menggunakan *Additive white Gaussian noise* (AWGN) dengan parameter model kanal yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.10 yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan konfigurasi sistem komunikasi yang telah ditentukan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9
Parameter Kanal

Parameter	Nilai
Kanal	AWGN
SNR	0-35 (dB)
Iterasi Kanal	40

Agar sistem komunikasi dengan menggunakan nilai FFT sebesar 4096 dan modulasi 64-QAM dan 256-QAM dapat mencapai BER 10^{-4} , sehingga diperlukan daya dari 0-35 (dB). Sementara, iterasi kanal sebanyak 40 kali dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat. Fungsi MATLAB untuk Kanal AWGN yang digunakan terdapat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10
Model Kanal AWGN

AWGN Channel	awgn
Parameter	
snrdb	Memilih dari varian derau (atau rasio sinyal terhadap derau Eb/No, Es/No, dan SNR).
txSig_OFDM	Sinyal dalam bentuk OFDM.

measured	Menerima nilai daya sinyal input dalam dB. Untuk mengukur kekuatan sinyal OFDM sebelum menambahkan <i>noise</i> .
----------	---

3.4 Pengujian Sistem

Untuk melakukan analisa performansi kinerja sistem OFDM dan UPMC ini, maka diperlukan parameter sebagai berikut:

3.4.1 Bit Error Rate (BER)

BER adalah parameter untuk penentuan kualitas sistem yang merumuskan kesalahan laju bit yang terjadi selama proses transmisi data antara terminal pengirim dan penerima. BER dihitung dengan membandingkan deretan bit yang ditransmisikan terhadap bit yang diterima dan menghitung banyaknya *error* (Bharati dkk, 2020). Secara sistematis, BER dapat didefinisikan dengan persamaan (3.1):

$$\text{BER} = \frac{\text{Jumlah bit error}}{\text{Jumlah total bit kirim}} \quad (3.1)$$

Misalkan, suatu sistem memiliki urutan bit yang akan ditransmisikan sebagai berikut:

0 1 0 1 0 0 0 1 1 0

Selanjutnya, urutan bit yang diterima ada seperti berikut ini:

0 1(1) 1 0(1) 0(0) 1(1)

Dalam hal ini terdapat jumlah kesalahan bit sebanyak 4 (bit yang dilingkari). Maka, dapat dihitung:

$$\text{BER} = \frac{4}{10} \times 100\% = 40\% \text{ error}$$

Sistem pada contoh tersebut dapat dinyatakan cukup baik karena nilai *error* 40%. Sistem yang dinyatakan buruk adalah ketika menyajikan nilai maksimal BER sebesar 0.5 (50%) untuk saluran di mana *noise* mendominasi. Nilai BER biasanya antara angka 10^{-1} hingga 10^{-6} , dengan keterangan *link quality* dapat dilihat pada Tabel 3.11 berdasarkan (CloudRF, 2019).

Tabel 3.11
 Nilai Kualitas Sistem Komunikasi Berdasarkan BER

<i>Decimal</i>	<i>Exponential</i>	<i>Link Quality</i>
0.1	10^{-1}	<i>Bad</i>
0.01	10^{-2}	<i>Not bad</i>
0.001	10^{-3}	<i>OK</i>
0.0001	10^{-4}	<i>Good</i>
0.00001	10^{-5}	<i>Very good</i>
0.000001	10^{-6}	<i>Excellent</i>

Karenanya, pada penelitian ini target BER yang digunakan adalah 10^{-4} , karena termasuk kedalam kondisi *link quality* yang bagus untuk sistem komunikasi.

3.4.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan parameter untuk membandingkan level daya sinyal terhadap level daya *noise* dengan satuan *decibels* (dB). (Aksara dkk, 2020). Nilai SNR yang digunakan pada penelitian ini 0 - 35 dB.

3.4.3 Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)

PAPR yang tinggi dari sinyal yang ditransmisikan adalah salah satu kelemahan signifikan dari modulasi *multicarrier* yang menurunkan konverter *digital-to-analog* dan efisiensi dari penguat daya (*power amplifier*). PAPR yang rendah sangat penting untuk modulasi *multicarrier*, karena PAPR yang tinggi juga menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dan konsumsi energi yang lebih tinggi (Wei dkk, 2019). Secara sistematis, PAPR dapat didefinisikan dengan persamaan (3.2):

$$PAPR = \frac{\max\{|x(t)|^2\}}{E\{|x(t)|^2\}} \quad (3.2)$$

di mana :

$E\{|x(t)|^2\}$ = kekuatan rata-rata sinyal

$\max\{|x(t)|^2\}$ = daya maksimum sinyal

3.4.4 Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF)

PAPR biasanya digambarkan dengan CCDF, yaitu probabilitas bahwa PAPR lebih besar dari ambang batas yang diberikan $PAPR_0$ seperti ditunjukkan pada persamaan (3.4):

$$CCDF_{PAPR} = Prob(PAPR > PAPR_0) \quad (3.4)$$

di mana :

$$PAPR_0 = \text{ambang daya}$$

CCDF merupakan parameter untuk mengukur daya puncak dari sinyal OFDM yang berisi informasi mengenai sinyal OFDM yang memiliki PAPR di atas level tertentu dinyatakan seperti pada persamaan (3.5) :

$$CCDF = 1 - CCDF$$

$$CCDF = 1 - (1 - e^{-PAPR})^N \quad (3.5)$$

3.4.4 Skenario Pengujian

Penelitian ini terbagi kedalam 3 (tiga) skenario pengujian, yaitu:

a. Skenario I

Pengujian Skenario I dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan modulasi M -QAM pada sistem komunikasi dengan OFDM, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12
Pengujian Skenario I

<i>Channel Coding</i>	<i>Waveform</i>	<i>Modulation</i>
Tanpa LDPC	OFDM	64-QAM
		256-QAM

b. Skenario II

Pengujian Skenario II dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan modulasi M -QAM pada sistem komunikasi dengan UPMC, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13
Pengujian Skenario II

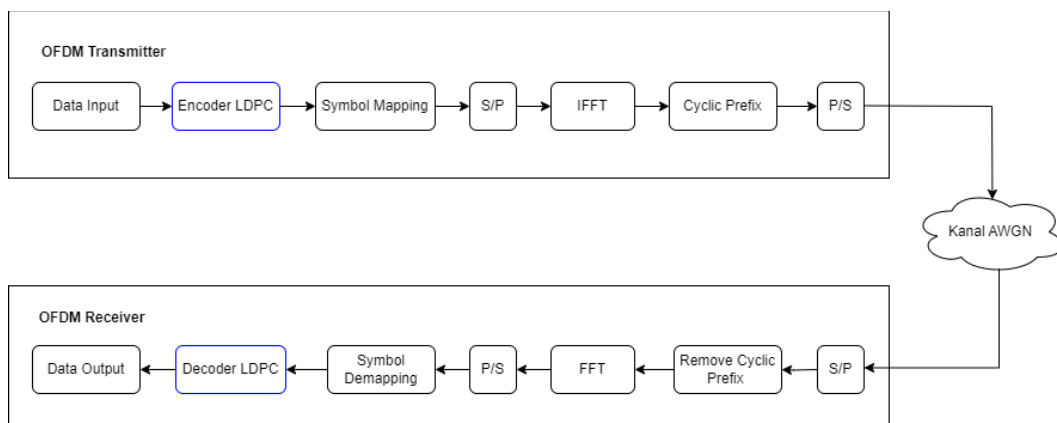
<i>Channel Coding</i>	<i>Waveform</i>	<i>Modulation</i>
Tanpa LDPC	UFMC	64-QAM
		256-QAM

c. Skenario III

Pengujian Skenario III dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan modulasi M -QAM dan pengkodean LDPC menggunakan *coderate* (R) = $\frac{1}{2}$ pada sistem komunikasi dengan OFDM, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.14. Sementara, Gambar 3.5 merupakan konfigurasi Sistem Komunikasi dengan OFDM menggunakan LDPC Code.

Tabel 3.14
Pengujian Skenario III

<i>Channel Coding</i>	<i>Waveform</i>	<i>Modulation</i>
LDPC $R = \frac{1}{2}$	OFDM	64-QAM
		256-QAM



Gambar 3.5 Konfigurasi Sistem Komunikasi dengan OFDM menggunakan LDPC
Code

1) LDPC Encoder

Blok *encoder* berfungsi untuk melakukan pengkodean bit informasi untuk meminimalisasi terjadinya *error* di sisi penerima. Fungsi MATLAB untuk LDPC *Encoder* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15
LDPC Encoder

LDPC Encoder	ldpcEncode
Parameter	
<code>pcm = sparse([eye(x) eye(x)]);</code>	pcm merupakan nilai untuk <i>parity-check matrix</i> dari kode LDPC dengan menggunakan function <code>sparse</code> . <code>x</code> merupakan nilai bit input
<code>txEncoded</code>	Bit yang telah di encoder.

2) LDPC Decoding

Tahap *decoding* ini dilakukan untuk mendeteksi dan mengoreksi data yang diterima setelah melalui kanal AWGN pada sistem. Fungsi MATLAB untuk LDPC *Decoder* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16
LDPC Decoder

LDPC Decoder	ldpcDecode
Parameter	
<code>rxDecoder</code>	Bit yang telah di decoder.

3.5 Tempat Penelitian

Pelaksanaan pemodelan dan simulasi serta pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi, Jurusan Sistem Telekomunikasi, Fakultas Kampus UPI di Purwakarta, Universitas Pendidikan Indonesia.

3.6 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, dengan jadwal kegiatan penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17

Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi literatur.						
2.	Perancangan simulasi dan pemrograman skenario sistem.						
3.	Pengambilan data pengukuran performansi sistem.						
4.	Analisis Hasil data yang diperoleh.						
5.	Penulisan laporan akhir.						
6.	Penulisan Artikel dan Publikasi Jurnal.						