

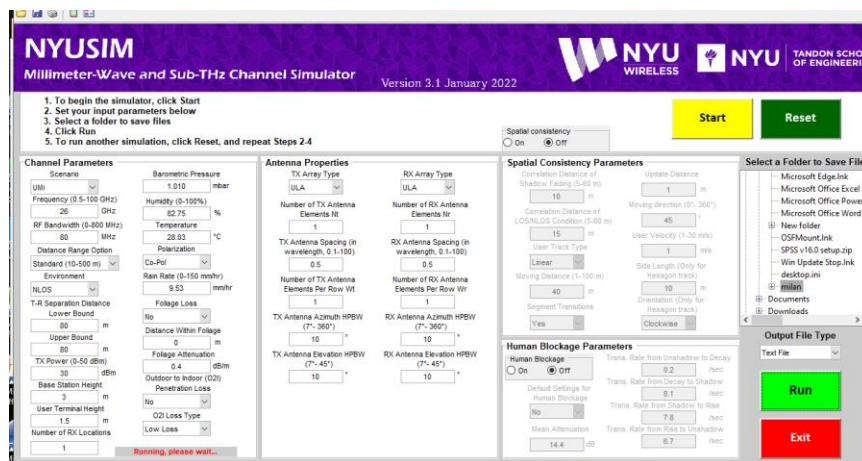
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alat Yang Digunakan

3.1.1 *New York University Wireless Simulator (NYUSIM)*

NYUSIM merupakan salah satu *software* yang direkomendasikan oleh 3GPP untuk melakukan pemodelan kanal 5G. Parameter masukan pada NYUSIM untuk OFDM *numerology* pada penelitian ini yaitu berdasarkan parameter spesifikasi teknologi 5G dan parameter lingkungan yang didapatkan dari BMKG Kota Medan. Pada Gambar 3.1 merupakan tampilan NYUSIM.



Gambar 3.1 Tampilan NYUSIM

3.1.2 *Matlab* versi 2017a

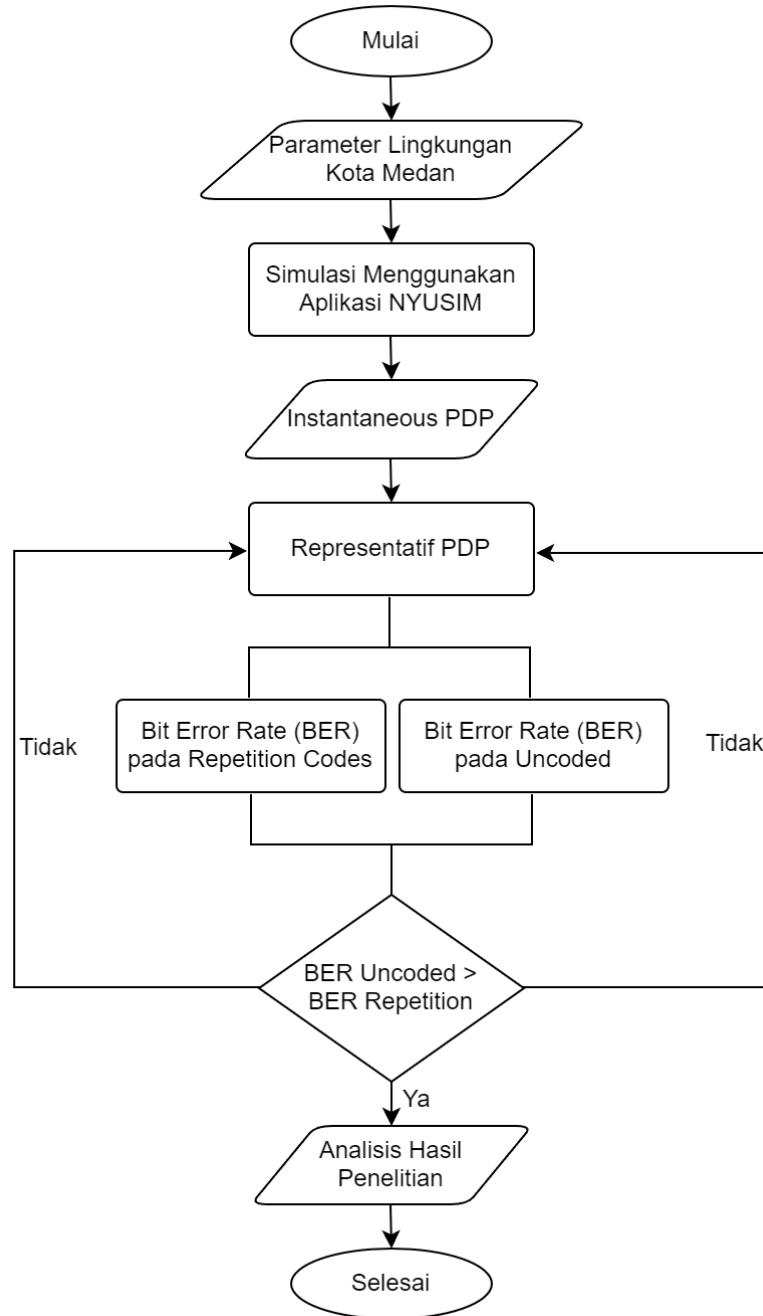
Matlab merupakan sebuah aplikasi yang berfungsi untuk menganalisis data-data *numerik* dan untuk pembuatan grafik yang memudahkan pada saat menganalisis hasil dari parameter perancangan sistem. Hasil dari parameter perancangan sistem akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan *Matlab*.

3.1.3 *Microsoft Excel*

Microsoft excel merupakan program perangkat lunak yang berfungsi untuk mengolah dan menghitung data yang bersifat *numerik* (angka). Pengolahan data dilakukan menggunakan rumus dalam lembar *spreadsheet*. Data yang diolah berupa *output* dari PDP.

3.2 Alur Penelitian

Dalam penelitian ini akan melakukan beberapa tahapan, berikut merupakan *flowchart* dari penelitian ini dan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Flowchart* Penelitian

Pada Gambar 3.2 skenario pengujian dalam penelitian ini yaitu menganalisis performansi dari OFDM *numerology* pada sistem 5G NR di Indonesia. Untuk langkah pertama yaitu mencari dan mengumpulkan parameter

lingkungan dari BMKG Kota Medan. Langkah kedua, dari parameter lingkungan yang diperoleh akan digunakan untuk menghasilkan *instantaneous* PDP dengan frekuensi sebesar 26 GHz dan *bandwidth* sebesar 200 MHz menggunakan aplikasi simulator NYUSIM. Selanjutnya akan muncul hasil dari *representatif* PDP. Dan langkah terakhir yaitu menganalisis BER menggunakan *channel coding repetition codes* dengan tanpa *channel coding (uncoded)*. Pada Tabel 3.1 merepresentasikan parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
FFTsize	128
Coding rate uncoded	1
Coding rate repetition codes	1/3
CDF	90%
Threshold	-140 dB

3.2.1 Environment Parameter

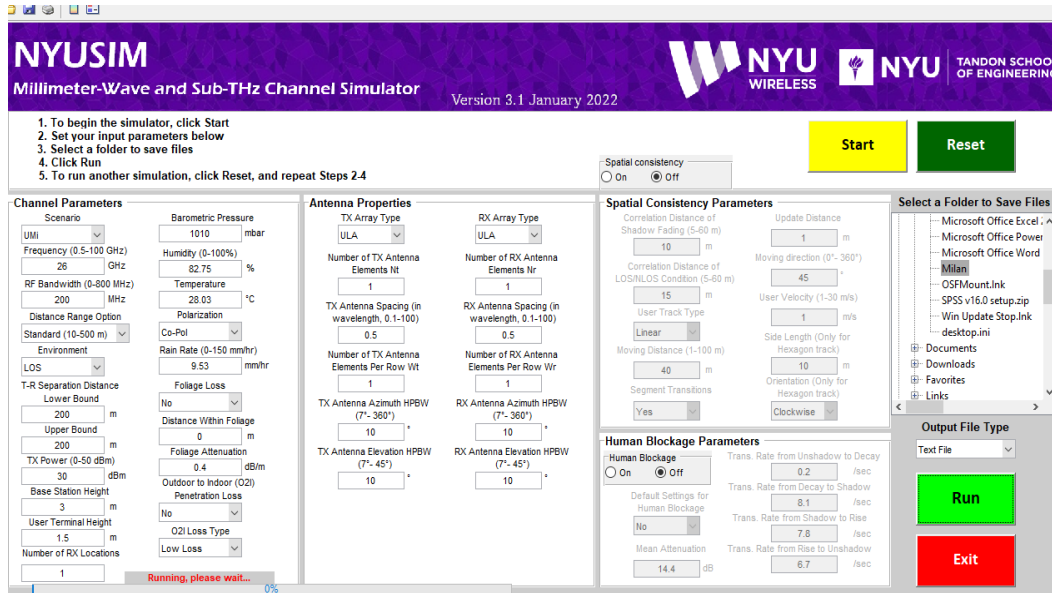
Penelitian ini menggunakan frekuensi 26 GHz dengan *bandwidth* 200 MHz. Tahap pertama yaitu mengumpulkan data parameter *environment*. Pada Tabel 3.1 menunjukkan parameter lingkungan yang akan digunakan, diantaranya suhu, kelembapan udara, tekanan udara, dan curah hujan. Data tersebut diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Medan dan data yang diambil dari bulan Januari-April 2022. Selanjutnya melakukan simulasi menggunakan NYUSIM dengan memasukkan data rata-rata dari empat bulan tersebut.

Tabel 3.2 Environment Parameter Kota Medan

Parameter	Nilai Rata-Rata
Suhu	28,03 °C
Kelembapan Udara	82,75 %
Tekanan Udara	1.010 mbar
Curah Hujan	9,53 mm/hr

3.2.2 Simulasi NYUSIM versi 2.1a

Tahap kedua yaitu melakukan simulasi menggunakan simulator NYUSIM versi 2.1a untuk mendapatkan *instantaneous* PDP. NYUSIM memiliki beberapa fitur yang berfungsi untuk mengatur parameter yang digunakan, antara lain yaitu skenario lingkungan, frekuensi, *bandwidth*, jarak antara pemancar dengan penerima, dan parameter *environment*. Simulasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan nilai rata-rata dari parameter *environment*, meliputi suhu, kelembapan, tekanan udara dan curah hujan. Hasil dari simulasi NYUSIM yaitu *instantaneous* PDP yang terdiri dari daya dan *delay* untuk setiap *path*. Penelitian ini mengasumsikan banyaknya penerima sejumlah 1000 untuk digunakan dalam mendapatkan 1000 *instantaneous* PDP. Parameter *input-an* pada simulator NYUSIM dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Tabel 3.3.



Gambar 3.3 Tampilan Parameter Masukan pada NYUSIM v2.1a

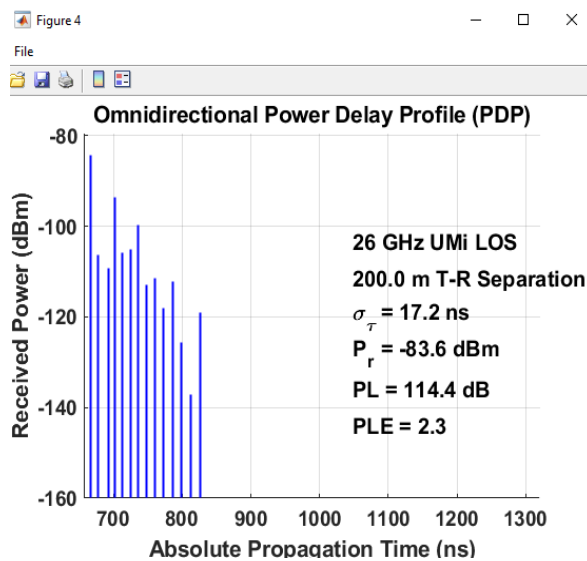
Tabel 3.3 Parameter Masukan NYUSIM v2.1a

No	Channel Parameter	Nilai
1	Scenario	Urban Microcell (UMi)
2	Frequency (GHz)	26 GHz
3	Radio Frequency (RF) Bandwidth	200 MHz
4	Environment	Non Line of Sight (NLOS)
5	Tx-Rx Separation Distance Lower Bound	200 Meter
6	Tx-Rx Separation Distance Upper Bound	200 Meter

No	Channel Parameter	Nilai
7	<i>Tx Power</i>	30 dBm
8	<i>Number of Rx Locations</i>	1000
9	Tekanan Udara (<i>Barometric Pressure</i>)	1.010 mbar
10	Kelembapan (<i>Humadity</i>)	82,75 %
11	Suhu Udara (<i>Temperature</i>)	28,03 °C
12	Curah Hujan (<i>RainRate</i>)	9,53 mm/hr
13	<i>Polarization</i>	Co-Pol (<i>Co-Polarization</i>)
14	<i>Foliage loss</i>	-
15	<i>Distance Within Foliage</i>	0 m
16	<i>Foliage Attenuation</i>	0,4 dB/m
17	<i>O2I Loss Type</i>	<i>Low Loss</i>

3.2.3 Instantaneous PDP

Instantaneous PDP didapatkan dari hasil simulator dengan 1000 penerima sehingga diperoleh 1000 *instantaneous* PDP yang bertujuan pada akurasi *representatif* PDP, karena nilai kanal akan berubah-ubah terhadap waktu untuk perhitungan *capacity* dari kanal. Berdasarkan simulasi dengan menggunakan NYUSIM diperoleh hasil *instantaneous* PDP pada sumbu X menunjukkan *delay* (ns) di setiap *path* serta sumbu Y menunjukkan daya (dBm). Gambar 3.5 menunjukkan contoh keluaran dari simulasi NYUSIM pada *instantaneous* PDP.



Gambar 3.4 Contoh *Instantaneous* PDP pada Keluaran Hasil Simulasi

3.2.4 Representatif PDP

Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan untuk mendapatkan *representatif* PDP dari 1000 *instantaneous* PDP dari hasil simulator. Berikut ini langkah-langkah yang digunakan dalam memperoleh representatif PDP yang dilakukan pada penelitian :

- 1) Melakukan pembulatan untuk setiap PDP_i, dimana *i* merupakan angka *indeks* dari PDP_{*x*} = {1,2,...,K}, serta *K* merupakan banyaknya percobaan PDP. Dengan rentang pembulatan $\Delta T \leq 1/B$ dimana $\Delta T = 5$ ns.
- 2) Menjumlahkan semua *path* pada *delay* yang sama untuk semua PDP_i.
- 3) Melakukan CDF (*Cumulative Distribution Function*) sebesar 90% pada daya dari semua PDP untuk dijadikan representatif daya.
- 4) Melakukan *threshold* sebesar -140 dB dari PDP representatif. Nilai *threshold* ini merupakan nilai inisialisasi untuk sistem *small scale fading*.
- 5) Melakukan metode *scaling* dari ukuran FFT yang asli, jadi semua *path* yang dihasilkan memenuhi persyaratan dimana panjang CP lebih besar atau sama dengan jumlah total *path* asli ($Q \geq \Sigma \text{Path}$).
- 6) Normalisasi untuk mendapatkan representatif PDP akhir.

Tabel 3.4 *Power Delay Profile Asli*

Tap <i>k</i>	Power σ_k^2	Delay τ (ns)
1	σ_1^2	0
2	σ_2^2	4
3	σ_3^2	8
4	σ_4^2	12
6	σ_5^2	16
7	σ_6^2	19
8	σ_7^2	22

Tabel 3.5 *Power Delay Profile Setelah Pemetaan Delay*

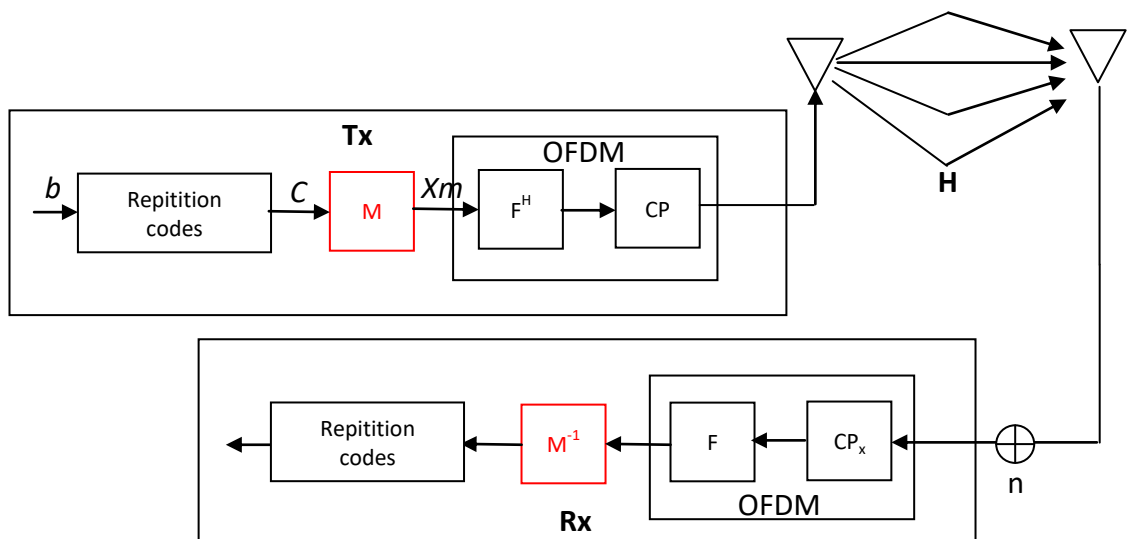
Tap <i>k</i>	Power σ_k^2	Delay τ (ns)
1	σ_1^2	0
2	σ_2^2	5

Tap k	Power σ_k^2	Delay τ (ns)
3	σ_3^2	10
4	σ_4^2	10
5	σ_5^2	15
6	σ_6^2	20
7	σ_7^2	20

Tabel 3.6 Hasil *Delay Profile*

Tap k	Power σ_k^2	Delay τ (ns)
1	σ_1^2	0
2	σ_2^2	5
3	$\sigma_3^2 + \sigma_4^2$	10
4	σ_5^2	15
5	$\sigma_6^2 + \sigma_7^2$	20

3.2.5 Pemodelan Sistem 5G NR



Gambar 3.5 Blok Diagram Pemodelan Sistem 5G dengan *Repetition Codes*

Penelitian ini menggunakan teknik CP-OFDM pada sistem 5G yang dirancang dari representatif PDP untuk OFDM *numerology* 2 yang akan diuji dan

divalidasi. Parameter yang diujikan yaitu BER berdasarkan penerapan modulasi QPSK dan simulator yang digunakan adalah NYUSIM.

Pada Gambar 3.5 menunjukkan *bit* informasi (*b*) dibangkitkan pada sisi *transmitter* secara acak sebanyak jumlah *bit* tertentu dengan probabilitas kemunculan bit 0 dan 1. Selanjutnya melakukan pengkodean dengan menggunakan *repetition codes* dengan *coding rate* yaitu $R = \frac{1}{3}$ dan *uncoded* dengan *coding rate* yaitu $R = 1$. Kemudian melakukan proses perubahan pada simbol *M*. *M* merupakan proses modulasi QPSK pada *bit-bit* (*C*) yang di *uncoded* menjadi simbol-simbol *X_m*. *X_m* merupakan masukan dari proses modulasi bernama simbol, dimana penumpangan sinyal informasi ke sinyal *carrier* yang akan menghasilkan simbol berisikan bit-bit informasi. Selanjutnya akan ditransmisikan menggunakan *inverse fast fourier transform* (IFFT) pada blok F^H dengan panjang blok sebesar 128. Pada blok CP dilakukan penambahan *cyclic prefix* dengan panjang sama atau bahkan lebih dari jumlah *path* yang akan dikirimkan. Simbol OFDM akan ditransmisikan pada kanal *multipath* (*H*) yang menjadi representatif PDP.

Pada sisi penerima, *bit* informasi sampai di penerima dan terdapat penambahan *noise* (*n*) pada sistem. Selanjutnya pada blok OFDM akan dilakukan penghapusan *cyclic prefix*. Kemudian *fast fourier transform* (FFT) atau pada blok FFT terdapat proses pemisahan atau pelepasan simbol OFDM, dimana simbol tersebut akan didemodulasi pada blok M^{-1} menggunakan modulasi QPSK. Kemudian melakukan masukan pada blok *channel coding* yang berfungsi untuk meminimalkan *error*.

3.2.6 Simulasi Matlab versi 2017a

3.2.6.1 Simulasi *Uncoded*

Pada sisi pengirim atau *transmitter*, bit informasi yang dikirim seperti pada Gambar 3.6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.0454	0.0387	0.0154	0.0060	0.0037	0.0012	6.0000e-04	0	
2										

Gambar 3.6 Bit *Input Uncoded*

Selanjutnya modulasi QPSK yang digunakan yaitu 4. Pada bagian OFDM, bit informasi akan ditransmisikan menggunakan IFFT dan ada penambahan CP seperti pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.3750 + 1.1250i	0.7639 - 0.7360i	0.2051 + 0.1541i	0.4514 + 1.6689i	-0.8487 - 0.1953i	0.0206 - 0.7858i	0.0750 - 0.0197i	0.4382 + 0.4057i	1.7146 + 0.2349i	-0.2785 + 0.5139i	-1.0016 - 0.0765i
2											

Gambar 3.7 Nilai Simulasi IFFT pada *Uncoded*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.0167 - 0.2823i	-0.2381 + 0.1665i	0.0713 - 0.7263i	0.3675 - 0.7245i	-1.1561 + 0.1319i	-0.2011 + 0.4778i	0.2010 - 1.6749i	0.3945 - 0.7513i	-0.7189 - 0.7834i	0.3750 + 1.1250i	0.7639 - 0.7360i
2											

Gambar 3.8 Hasil Penambahan CP dalam simulasi *Uncoded*

Simbol OFDM akan ditransmisikan pada kanal *multipath fading* menghasilkan 9 *path*. Matriks yang dihasilkan dalam simulasi *uncoded* seperti pada Gambar 3.9.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
2	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
3	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
4	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
5	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
6	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
7	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
8	0.0021 - 0.0473i	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
9	0.0000 + 0.0000i	0.0021 - 0.0473i	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
10	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0021 - 0.0473i	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i	0.0000 + 0.0000i
11	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0021 - 0.0473i	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i	-0.2357 + 0.0399i
12	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0021 - 0.0473i	-0.0340 - 0.0313i	-0.0265 - 0.0856i	0.0376 - 0.0059i	-0.0344 - 0.0493i	0.1229 + 0.1285i	-0.0695 - 0.2155i

Gambar 3.9 Nilai Matriks pada *Uncoded*

Pada sisi penerima atau *receiver*, terdapat penambahan *noise* pada sistem, selanjutnya dilakukan penghapusan CP pada simbol OFDM untuk mendapatkan simbol yang asli. Kemudian antara frekuensi carrier dengan simbol OFDM akan dipisahkan pada blok FFT seperti Gambar berikut.

	1
1	0.0152 + 0.0659i
2	-0.0102 - 0.0255i
3	0.0988 + 0.1769i
4	-0.2832 + 0.2209i
5	0.2018 - 0.1907i
6	0.2055 + 0.1156i
7	-0.0603 + 0.2857i
8	-0.5324 + 0.3369i
9	0.1496 - 0.0297i
10	-0.2286 + 0.0880i
11	0.0812 - 0.1842i
12	-0.4913 + 0.1488i

Gambar 3.10 Hasil Penambahan *Noise* dalam simulasi *Uncoded*

	1
1	0.0692 - 0.3317i
2	-0.0483 - 0.5637i
3	-0.2026 + 0.5473i
4	-0.1122 - 0.2794i
5	0.0917 - 0.1162i
6	0.0163 + 1.6419i
7	-0.3140 - 0.6417i
8	-0.4675 + 0.2987i
9	-0.3514 - 0.2487i
10	-0.2749 - 0.5023i
11	-0.1176 - 0.0901i
12	0.7717 + 0.4200i

Gambar 3.11 Penghapusan CP dalam simulasi *Uncoded*

	1
1	-0.2398 - 0.1559i
2	0.6959 + 0.5262i
3	-0.8921 + 0.5223i
4	0.2026 - 0.0169i
5	-1.2467 + 1.6723i
6	-0.0459 + 0.6825i
7	-0.2024 + 0.1582i
8	0.4571 - 0.3307i
9	-0.3361 + 0.0062i
10	-0.7135 - 0.5003i
11	0.1266 - 0.2168i
12	-0.6866 - 1.0426i

Gambar 3.12 Hasil FFT dalam simulasi *Uncoded*

3.2.6.2 Simulasi *Repetition Codes*

Pada sisi pengirim atau *transmitter*, bit informasi yang dikirim seperti pada Gambar 3.13.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.0454	0.0387	0.0154	0.0060	0.0037	0.0012	6.0000e-04	0	
2										

Gambar 3.13 Bit *Input Repetition Codes*

Selanjutnya akan dilakukan proses pengkodean encoder di mana data inputan akan di konversi menjadi M-ary dengan $m = 4$. Pada bagian OFDM, bit informasi akan ditransmisikan menggunakan IFFT dan ada penambahan CP seperti pada Gambar berikut.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
2																															

Gambar 3.14 Hasil Bit Encoder

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.3750 + 1.8750i	0.3636 + 0.7569i	-0.1424 - 0.5807i	-0.2637 + 0.0581i	-0.2128 - 0.1874i	-0.3929 + 0.1828i	-0.7639 + 1.1250i	-1.3177 + 0.3719i	0.3790 - 0.4341i	-1.3914 + 0.7785i	-0.2141 - 0.6840i
2											

Gambar 3.15 Nilai Simulasi IFFT dalam simulasi Repetition Codes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.5778 - 1.0270i	-0.5400 - 0.3657i	-0.1053 - 0.4170i	-0.0065 - 1.0119i	0.2864 + 0.0173i	-0.0542 + 0.8424i	0.7360 + 0.6030i	-0.1189 - 0.2348i	0.2332 - 0.9196i	0.3750 + 1.8750i	0.3636 + 0.7569i
2											

Gambar 3.16 Hasil Penambahan CP dalam simulasi Repetition Codes

Simbol OFDM akan ditransmisikan pada kanal *multipath fading* menghasilkan 9 *path*. Matriks yang dihasilkan dalam simulasi *Repetition Codes* seperti pada Gambar 3.17.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
2	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
3	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
4	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
5	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
6	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
7	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
8	-0.0227 - 0.0112i	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
9	0.0000 + 0.0000i	-0.0227 - 0.0112i	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i
10	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	-0.0227 - 0.0112i	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i	0.0000 + 0.0000i
11	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	-0.0227 - 0.0112i	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i	-0.1524 - 0.3910i
12	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	0.0000 + 0.0000i	-0.0227 - 0.0112i	0.0372 + 0.0483i	-0.0157 - 0.0229i	-0.0353 + 0.0327i	0.1718 + 0.0264i	0.1315 - 0.0023i	0.0154 - 0.0715i

Gambar 3.17 Nilai Matriks dalam simulasi Repetition Codes

Pada sisi penerima atau *receiver*, terdapat penambahan *noise* pada sistem, selanjutnya dilakukan penghapusan CP pada simbol OFDM untuk mendapatkan simbol yang asli. Kemudian antara frekuensi carrier dengan simbol OFDM akan dipisahkan pada blok FFT seperti Gambar berikut.

	1
1	-0.3136 + 0.3824i
2	-0.1430 + 0.2924i
3	-0.2598 + 0.0040i
4	-0.5701 - 0.0807i
5	-0.1533 - 0.2441i
6	0.3496 - 0.3102i
7	0.2918 - 0.5720i
8	0.0488 + 0.1949i
9	-0.3566 + 0.2932i
10	0.7249 - 0.4364i
11	0.3679 - 0.3921i
12	-0.0626 + 0.2269i

Gambar 3.18 Hasil Penambahan *Noise* dalam simulasi *Repetition Codes*

	1
1	0.5836 - 0.5380i
2	-0.2922 - 0.2948i
3	-0.0659 + 0.3419i
4	0.1191 + 0.9301i
5	-0.3510 + 0.8306i
6	0.3826 - 0.1805i
7	0.5002 + 0.4487i
8	0.3909 + 0.6280i
9	0.4102 + 0.5552i
10	0.2645 + 0.9700i
11	-0.3545 + 0.7488i
12	-0.5622 - 1.0820i

Gambar 3.19 Penghapusan CP dalam simulasi *Repetition Codes*

	1
1	-0.6689 + 0.5947i
2	0.8323 + 0.0304i
3	-0.3852 + 0.3275i
4	0.6827 + 0.6830i
5	0.5144 + 0.1575i
6	0.1040 - 0.8573i
7	0.2916 - 0.1678i
8	0.2249 - 0.4182i
9	1.1551 - 0.0216i
10	0.1758 - 0.8685i
11	0.0988 - 0.6797i
12	0.6037 + 0.9225i

Gambar 3.20 Hasil FFT dalam simulasi *Repetition Codes*

3.2.7 Pengujian *Bit Error Rate* (BER)

Dalam penelitian ini melakukan perhitungan dan analisis *bit error rate* (BER) berdasarkan modulasi QPSK dan sistem CP-OFDM dengan *coding rate* yaitu $R = \{1, 1/3\}$. Berdasarkan persamaan (2.26), dimana *Bit error* merupakan jumlah bit yang *error* dan *bit transmitted* merupakan jumlah bit yang ditransmisikan. Kinerja BER *repetition codes* pada kanal *multipath fading* akan lebih baik dibandingkan kinerja BER *uncoded*.