

BAB III

METODE PENELITIAN

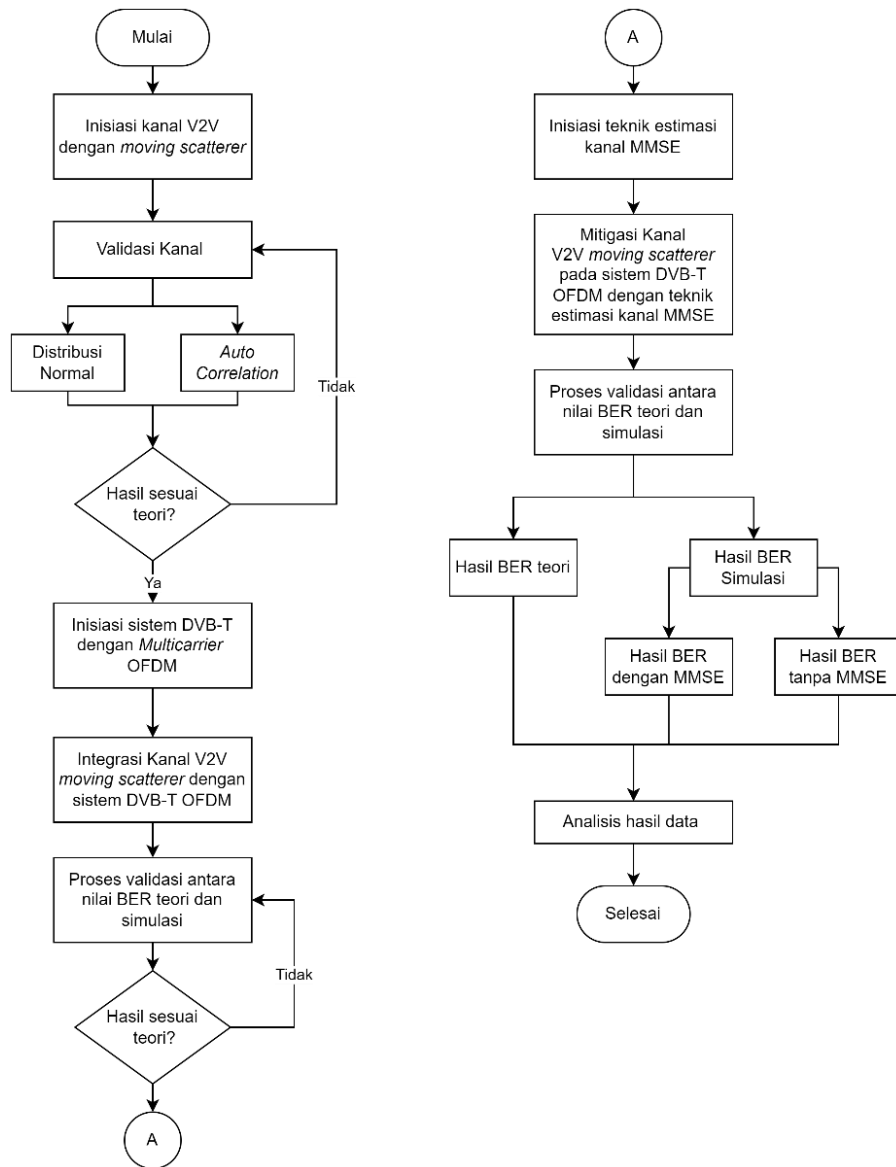
3.1 ALAT DAN BAHAN

Pada penelitian ini digunakan model kanal V2V dengan *moving scatterer* yang diuji pada beberapa kecepatan. Kanal diuji pada teknologi DVB-T di mana *multicarrier* yang digunakan adalah OFDM. Untuk mengatasi kerusakan sinyal yang terjadi karena efek *Doppler* dari *moving scatterer*, ditambahkan metode estimasi kanal *Minimum mean square error* (MMSE). Hasil penelitian ini divalidasi berdasarkan parameter *Bit Error Rate* (BER). Pengujian sistem ini dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan *software* MATLAB R2020a.

3.2 ALUR PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan observasi cakupan penelitian. Observasi cakupan dilakukan melalui studi literatur yang telah di bahas pada BAB II. Setelah studi literatur, berikutnya adalah menyusun perancangan sistem yang akan digunakan pada penelitian. Terdapat beberapa hal yang akan di bahas pada alur penelitian ini, dari proses inisiasi kanal yang digunakan hingga langkah akhir penelitian.

Pada penelitian ini, digunakan kanal komunikasi V2V dengan kondisi *moving scatterer*, yaitu *obstacle* bergerak yang akan menjadi pemantul sinyal dari transmitter ke receiver. Setelah itu, kanal akan divalidasi dengan beberapa metode untuk memastikan bahwa kanal yang akan digunakan pada penelitian dalam kondisi benar. Proses berikutnya adalah menetapkan parameter sistem DVB-T. Sistem DVB-T menggunakan *multicarrier* OFDM, sehingga pada penelitian ini digunakan *multicarrier* yang sama. Pada proses OFDM, ditambahkan *pilot symbol* yang akan digunakan untuk proses mitigasi. Mitigasi pada penelitian ini dilakukan guna mengurangi reduksi penerimaan sinyal yang terjadi karena efek *Doppler* pada kanal V2V. Metode mitigasi yang digunakan adalah estimasi kanal MMSE. Alur penelitian ini ditunjukkan secara detail pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:

a) Inisiasi kanal V2V

Proses pertama adalah inisiasi kanal yang digunakan yaitu kanal V2V dengan *moving scatterer*. Pada proses ini dilakukan penetapan sistem kanal V2V dengan *moving scatterer* serta penetapan parameter pendukung kanal tersebut. Parameter-parameter pendukung kanal ini berupa parameter *transmitter*, *receiver*, kendaraan, serta masing-masing kecepatan yang digunakan.

b) Validasi Kanal

Setelah menentukan model kanal, berikutnya adalah melakukan validasi terhadap model kanal yang telah dibangun. Proses validasi kanal dilakukan dengan dua metode yaitu *Probability Density Function* (PDF) dan *auto correlation*.

c) Inisiasi sistem DVB-T OFDM

Setelah hasil validasi sesuai dengan teori, proses penelitian dilanjutkan dengan inisiasi sistem DVB-T pada *multicarrier* OFDM. Pada tahap ini dilakukan penetapan sistem DVB-T sebagai teknologi uji, dan OFDM dengan ditambahkan *Cyclic Prefix*. Selain itu, pada proses ini akan ditambahkan *Pilot Symbol* yang digunakan untuk data acuan estimasi kanal di sisi penerima. Pada proses ini, kanal ditetapkan pada kondisi *Channel State Information* (CSI) yang baik, di mana penerima mengetahui informasi yang dikirimkan.

d) Validasi sistem DVB-T OFDM

Setelah sistem DVB-T dibangun, dilakukan integrasi antara kanal V2V *moving scatterer* dengan sistem DVB-T OFDM. Setelah diintegrasikan, sistem DVB-T OFDM pada kanal V2V divalidasi terhadap nilai BER yang sesuai dengan teori. Selanjutnya dilakukan proses validasi untuk memeriksa sistem DVB-T sesuai dengan rancangan sistem.

e) Inisiasi estimasi kanal MMSE

Jika hasil validasi memenuhi, berikutnya adalah inisiasi sistem mitigasi estimasi kanal MMSE. Sistem estimasi kanal ini digunakan untuk menekan ICI yang disebabkan oleh efek *Doppler* akibat *moving scatterer*. Pada proses ini, dilakukan penetapan algoritma MMSE yang akan digunakan untuk proses ekualisasi MMSE. Setelah informasi melewati kanal, sistem MMSE akan bekerja untuk memperkirakan informasi pada kanal. Informasi ini akan digunakan sebagai acuan untuk proses ekualisasi MMSE setelah proses estimasi.

f) Integrasi sistem

Sistem akan diuji coba dengan beberapa skenario. Skenario pertama adalah uji coba sistem DVB-T pada kanal V2V dengan mitigasi MMSE, dan skenario kedua tanpa mitigasi MMSE.

g) Validasi parameter BER

Setelah seluruh sistem diintegrasikan, selanjutnya adalah proses validasi sistem antara nilai BER secara teori dan secara simulasi.

h) Analisis hasil data

Proses terakhir adalah menganalisis seluruh hasil dari proses penelitian khususnya perbedaan hasil antara kinerja sistem dengan dan tanpa MMSE.

3.3 PARAMETER SIMULASI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan. Pada Tabel 3.1 ditunjukkan parameter yang digunakan pada proses simulasi.

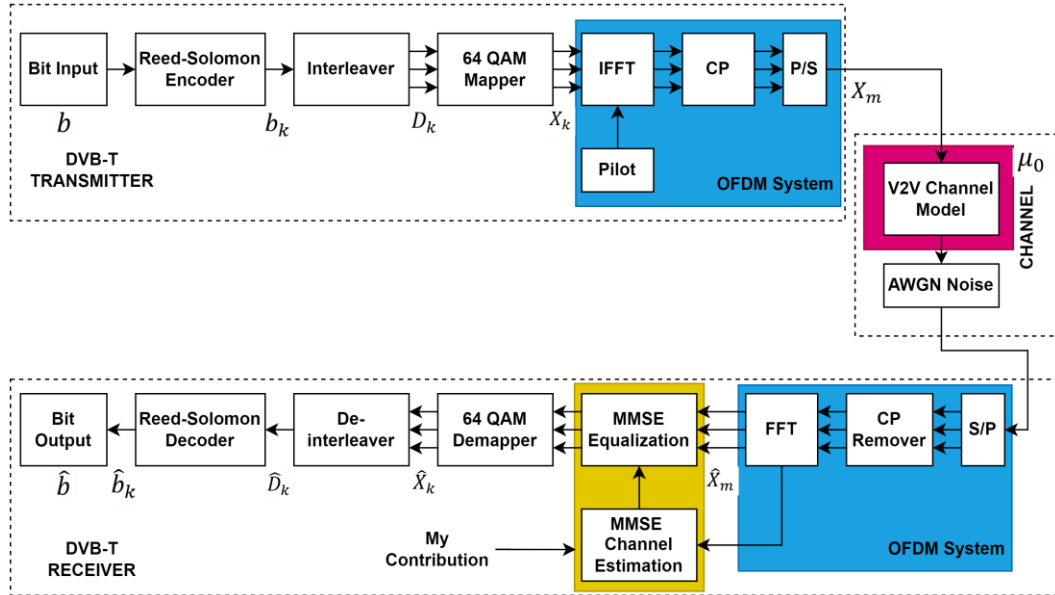
Tabel 3.1 Parameter Simulasi

No.	Parameter	Simbol	Nilai
1	Modulasi	m	64 QAM
2	Bit Input	b	1912
3	<i>Code Length Reed Solomon</i>	n	255
4	<i>Data Length Reed Solomon</i>	k	239
5	Kanal	h	V2V
6	Frekuensi <i>carrier</i>	f_c	700 MHz
7	Kecepatan Tx dan Rx	V_{Tx} dan V_{Rx}	10, 50, dan 100 m/s
8	Kecepatan <i>scatterer</i>	V_s	5 m/s
9	Jumlah <i>scatterer</i>	nii	8
10	Sudut pergerakan Tx dengan garis horizontal	θ_{send}	5 °
11	Sudut pergerakan Rx dengan garis horizontal	θ_{diff}	5 °
12	Fase	θ	5 °
13	Besar FFT	nFFT	2048
14	Frekuensi <i>Sampling</i>	fs	1024

3.4 PEMODELAN SISTEM

3.4.1 Model Sistem

Model keseluruhan sistem penelitian yang dibangun dapat digambarkan dengan detail pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Blok Penelitian

Pada bagian transmitter, bentuk data yang digunakan adalah bit *stream* yang bernilai 1 dan 0. Metode *Forward Error Correction* (FEC) yang digunakan pada sistem adalah *Reed Solomon* sesuai dengan spesifikasi DVB-T. Pada bagian *mapper*, digunakan modulasi 64 QAM. Jenis modulasi ini digunakan dengan mempertimbangkan skenario data yang dikirimkan sistem DVB-T pada umumnya adalah video di mana membutuhkan modulasi yang cukup tinggi. Setelah *mapper*, data akan melalui proses IFFT yang berfungsi untuk mengubah data dari domain frekuensi ke domain waktu sebelum memasuki kanal. Pada proses IFFT, ditambahkan simbol *pilot* sebagai informasi yang diketahui dari awal oleh penerima. Simbol *pilot* ini digunakan sebagai bahan estimasi di sisi penerima. Karena *multicarrier* yang digunakan adalah OFDM, ditambahkan blok CP yaitu penambahan *Cyclic Prefix*. Kemudian data akan diubah dari bentuk paralel ke dalam bentuk serial pada proses *parallel-to-serial*.

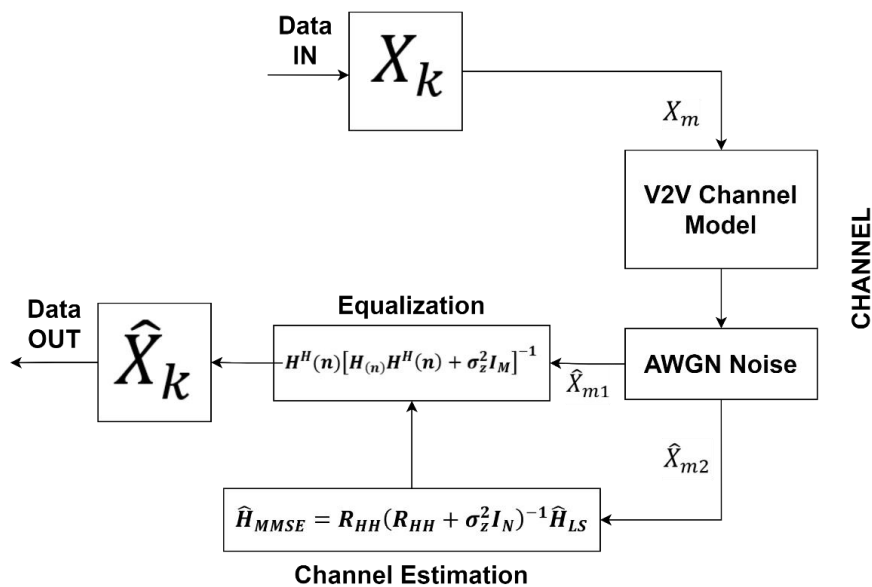
Setelah melewati kanal V2V, data akan dikembalikan pada bentuk paralel. Setelah itu CP akan dihilangkan dan data akan diubah dari domain waktu kembali menjadi domain frekuensi pada blok FFT. Data yang telah melalui proses FFT

memiliki informasi mengenai jumlah simbol yang dikirim dan diterima. Informasi ini digunakan pada proses *MMSE Channel Estimation* untuk diproses menggunakan algoritma MMSE. Informasi dari proses MMSE akan digunakan sebagai data ekualisasi untuk memperbaiki kondisi sinyal setelah melewati kanal.

Data yang telah diperbaiki pada proses ekualisasi kemudian melalui proses *demapper* untuk mengubah data yang telah dimodulasi kembali menjadi bentuk semula. Kemudian data akan melewati proses *encoder* untuk diubah menjadi bentuk bit awal.

3.4.2 Model Estimasi Kanal

Model mitigasi yang digunakan untuk mengurangi ICI akibat efek *Doppler* pada penelitian ini dapat digambarkan melalui Gambar 3.3 di bawah ini. Model sistem mitigasi yang digunakan adalah estimasi kanal MMSE.



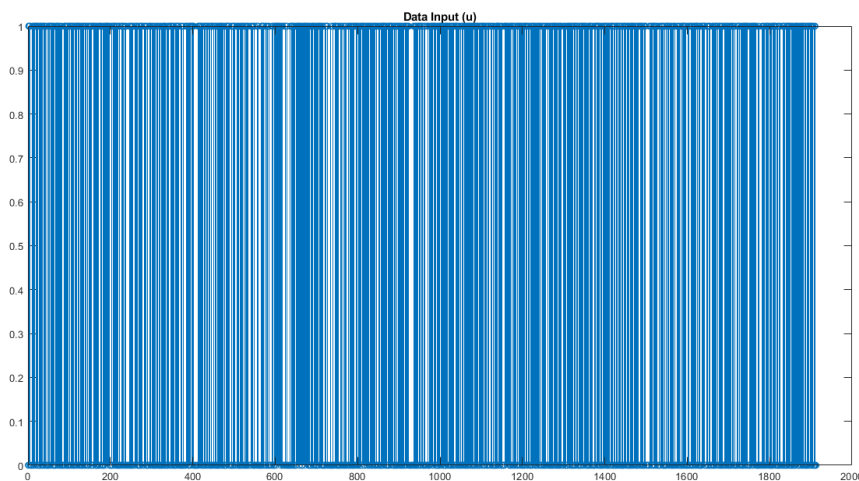
Gambar 3.3 Sistem mitigasi MMSE

Sistem mitigasi yang digunakan untuk mengurangi efek ICI pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.3 di atas. Data dari proses X_m akan dilewatkan pada kanal V2V dengan penambahan AWGN noise. Kemudian data \hat{X}_m yang telah melewati kanal dibedakan menjadi dua yaitu \hat{X}_{m1} dan \hat{X}_{m2} . \hat{X}_{m1} berisi data asli dari kanal yang tidak dapat diprediksi, sedangkan \hat{X}_{m2} berisi simbol pilot yang bersifat deterministic atau telah diketahui oleh penerima. Data \hat{X}_{m2} akan digunakan dalam proses estimasi kanal menggunakan persamaan pada blok *Channel Estimation*. Setelah melalui proses estimasi, data hasil estimasi akan digunakan seterusnya

untuk melakukan ekualisasi atau perbaikan data \hat{X}_{m1} menggunakan persamaan pada blok *Equalization*.

3.4.3 Data Input

Data input yang digunakan adalah bit acak yang dibangkitkan sebanyak jumlah bit/symbol yang digunakan dikali dengan jumlah simbol. Jumlah bit/symbol pada sistem adalah 8 bit/symbol, sedangkan jumlah simbol menyesuaikan dengan jumlah data di proses pengkodean *Reed Solomon*. Gambar 3.4 dan tabel 3.2 menunjukkan bit input yang dibangkitkan pada sistem. Total bit yang dibangkitkan adalah 1912 bit.



Gambar 3.4 Data Input Sebanyak 1912 Bit

Tabel 3.2 Bit Input baris ke-1

No.	Bit Input 1x1912							
1	0	1	0	0	1	0	1	0

3.4.4 Reed Solomon Encoder

Metode *encoding* yang digunakan pada sistem DVB-T adalah *Reed Solomon Encoder*. *Coding* ini bekerja dengan menambahkan simbol tambahan (*redundant*). Pada penelitian ini *codeword* (n) yang digunakan sepanjang 255 dengan informasi yang dikodekan (k) sepanjang 239 simbol dan simbol *redundant* sebanyak 16. Tabel 3.3 merupakan hasil dari proses *Reed Solomon Encoding*.

Tabel 3.3 Reed Solomon 1 x 255

No.	1	2	3	...	253	254	255
<i>Reed Solomon</i>	165	53	131	...	181	53	237

3.4.5 Interleaver

Proses setelah *encoding reed Solomon* adalah *interleaver* di mana data akan diacak dengan elemen yang berisi data random. Data elemen ini akan dipertahankan dan digunakan untuk proses *deinterleaver* di sisi penerima. Penggunaan *interleaver* bertujuan untuk menghindari adalah kehilangan data dalam proses pengiriman data. Tabel 3.4 menunjukkan hasil dari proses *interleaver* di sisi pengirim.

Tabel 3.4 Interleaver 255 x 1

No.	Interleaver
1	121
2	127
3	83
...	...
253	40
254	115
255	243

3.4.6 Mapping 64 QAM

DVB-T merupakan sistem komunikasi digital yang digunakan untuk menghantarkan audio, gambar, dan data dengan kualitas tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan akan *data rate* yang tinggi pada sistem DVB-T, penggunaan modulasi 64 QAM menjadi pilihan yang sesuai. Untuk melakukan proses *mapping* 64 QAM, data dari proses sebelumnya yang berbentuk biner diubah menjadi bentuk kompleks dengan menggunakan persamaan $S_k = I_k + jQ_k$ di mana I merupakan komponen *inphase* berupa bilangan real, Q merupakan komponen *quadrature* berupa bilangan imajiner, dan k adalah variabel simbolis. Tabel 3.5 menunjukkan hasil *mapping* 64 QAM dalam bentuk bilangan kompleks sepanjang 340 x 1.

Tabel 3.5 Mapping 64 QAM 340 x 1

No.	Mapping 64 QAM
1	-0,462910049886276 – 0,154303349962092i
2	0,462910049886276 + 0,154303349962092i
3	0,771516749810460 – 0,462910049886276i
...	...
338	0,462910049886276 + 1,08012344973464i

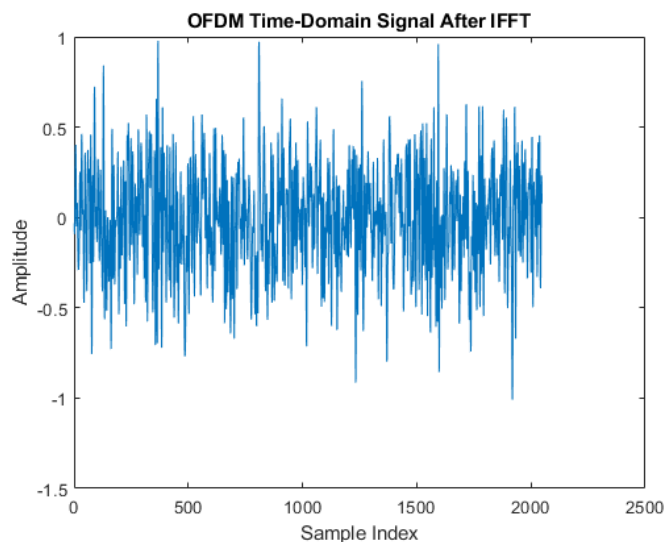
No.	Mapping 64 QAM
339	$0,462910049886276 - 1,08012344973464i$
340	$0,154303349962092 + 0,462910049886276i$

3.4.7 OFDM Modulator

Modulasi OFDM dilakukan untuk menjalankan proses *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) yang berfungsi untuk mengubah sinyal dalam bentuk domain frekuensi menjadi domain waktu. Pada penelitian ini, ukuran FFT yang digunakan sepanjang 2048. Proses modulasi OFDM dilakukan dengan mengubah hasil mapping dalam bentuk bilangan kompleks menjadi domain waktu sepanjang nilai FFT. Hasil dari proses IFFT berbentuk matriks baris 2048 x 1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 OFDM Modulator 2048 x 1

No.	OFDM Modulator
1	$-0,0340965453493738 + 0,0954703269782466i$
2	$-0,0923514468346255 - 0,00939864242453731i$
3	$-0,0620661089035481 - 0,137992515054788i$
...	...
2046	$0,231635035245500 - 0,0610666837316562i$
2047	$0,186485816138403 + 0,0722057538710469i$
2048	$0,0772420021596650 + 0,129348087841598i$



Gambar 3.5 Output sinyal setelah proses IFFT

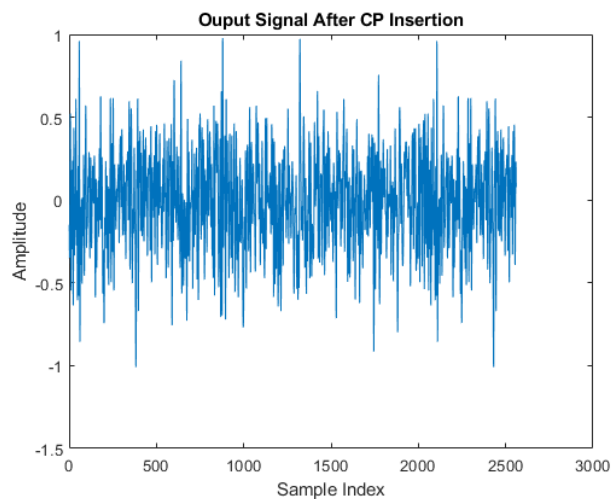
Gambar 3.5 merupakan bentuk sinyal yang telah melalui IFFT sehingga sinyal berada di domain waktu. Sumbu y yang menunjukkan perubahan nilai amplitudo seiring waktu disebabkan oleh kondisi kanal dan pengaruh efek *Doppler*.

3.4.8 Cyclic Prefix

Cyclic prefix (CP) adalah proses menyalin data dari ujung simbol OFDM yang berfungsi untuk mengurasi efek *Inter-symbol Interference* (ISI) yang diakibatkan oleh kanal *multipath fading*. Penelitian ini menggunakan CP dengan ukuran 1/4 dari simbol OFDM. Tabel 3.7 merupakan hasil simbol CP yang ditambahkan. Pada tahap ini, panjang simbol menjadi 2560 karena penambahan cyclic prefix sebanyak 512 simbol atau 1/4 dari simbol OFDM.

Tabel 3.7 Cyclic Prefix 2560 x 1

No.	Cyclic Prefix Insertion
1	$-0,150024799537245 + 0,375061998843112i$
2	$-0,294730518390147 + 0,245246012639616i$
3	$-0,348815194202558 + 0,0287500860757416i$
...	...
510	$0,231635035245500 - 0,0610666837316562i$
511	$0,186485816138403 + 0,0722057538710469i$
512	$0,0772420021596650 + 0,129348087841598i$



Gambar 3.6 Output sinyal setelah proses penambahan Cyclic Prefix

3.4.9 Kanal V2V

Simulasi ini memodelkan kanal V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) dengan *moving scatterers*. Pada kanal V2V, terdapat dua objek utama, yaitu pengirim dan

penerima, yang keduanya bergerak dengan kecepatan konstan dan dikelilingi oleh *scatterers* yang bergerak. Pengirim, penerima, serta *scatterers* ini bergerak dengan kecepatan acak. Kanal V2V memiliki dua jalur propagasi utama yaitu jalur LOS (*Line-of-Sight*), di mana sinyal dikirim langsung dari pengirim ke penerima tanpa halangan, dan jalur pantulan, di mana sinyal yang dikirim dari pengirim ke penerima dipantulkan terlebih dahulu oleh *scatterers* yang bergerak sebelum akhirnya mencapai penerima. Dalam simulasi ini, kecepatan Kendaraan dibuat bervariasi: rendah (10 m/s), sedang (50 m/s), dan tinggi (100 m/s), dengan jumlah *scatterers* sebanyak 8. Validasi kanal ini dilakukan menggunakan distribusi Gaussian atau distribusi normal dan analisis autokorelasi. Tabel 3.8 merupakan hasil kanal V2V yang dibangun dengan panjang 2048 x 1.

Tabel 3. 8 Hasil perkalian *multicarrier* terhadap kanal V2V

No.	Kanal V2V
1	0,0104628635282130 + 0,0000000000000000i
2	0,0103578008449015 – 0,00147895784732430i
3	0,0100447233704544 – 0,00292820959109901i
...	...
2558	-0,00146040759103333 + 0,000370227230566284i
2559	-0,00139389314838924 + 0,000573680553437669i
2560	-0,00129917525800465 + 0,000765743132353962i

3.4.10 *Cyclic Prefix Remover* dan *OFDM Demodulator*

Setelah melewati kanal, CP yang sebelumnya ditambahkan pada simbol akan dihapus untuk mengembalikan data asli. Sesuai dengan panjang CP, proses penghapusan CP dilakukan dengan menghilangkan 1/4 dari panjang simbol OFDM. Setelah proses penghapusan CP, simbol akan berukuran sepanjang 2048 seperti pada awal simbol OFDM. Setelah itu, simbol tersebut diubah ke dalam bentuk domain frekuensi menggunakan proses FFT. Proses ini merupakan proses *OFDM demodulator*. Tabel 3.9 merupakan hasil dari proses FFT yang telah disesuaikan panjangnya dengan simbol awal setelah *mapping* 64 QAM.

Tabel 3.9 OFDM Demodulator 2048 x 1

No.	OFDM Demodulator
1	-0,153742296577073 – 0,0873396029025657i

No.	OFDM Demodulator
2	$0,137520966044721 + 0,0764900901955820i$
3	$0,279071405008861 - 0,225922393998968i$
...	...
2046	$0,0350956431663117 - 0,0622081372898419i$
2047	$0,0404003258949075 + 0,0948660928345571i$
2048	$-0,0157639176818851 - 0,0182162658307864i$

3.4.11 MMSE Channel Estimator

Estimasi MMSE dilakukan dengan menggunakan matriks *autocovariance* dari kanal untuk menghitung estimasi kanal dan memperbaikinya dengan memperhitungkan statistik kanal dan noise. Tabel 3.10 merupakan hasil dari estimasi kanal yang didapatkan dengan menggunakan metode estimasi kanal MMSE.

Tabel 3.10 MMSE Estimation

No.	MMSE Estimation
1	$0,106967823845187 + 0,0211133983421985i$
2	$0,0953629771578880 + 0,0179296715038426i$
3	$0,234739044269310 - 0,0331080835941325i$
...	...
338	$0,239070454410601 - 0,0468825322101573i$
339	$0,127941102405651 - 0,0608371953869517i$
340	$0,0142918409864402 + 0,0103164279735693i$

3.4.12 MMSE Channel Equalization

Proses ekualisasi kanal pada umumnya dilakukan dengan membagi data output dengan data estimasi yang didapatkan sebelumnya. Pada penelitian ini, data output yang digunakan adalah hasil FFT dari sinyal yang telah melewati kanal dan disesuaikan panjangnya dengan panjang simbol sinyal awal. Data output selanjutnya dibagi per elemen dengan hasil estimasi dari MMSE yang tertampil pada tabel 3.11.

Tabel 3. 11 MMSE Equalization

No.	MMSE Equalization
1	-1,53849954008894 – 0,512833180029648i
2	1,53849954008894 + 0,512833180029648i
3	1,29876649990981 – 0,779259899945884i
...	...
338	0,648356513714322 + 1,51283186533342i
339	0,648356513714322 – 1,51283186533342i
340	0,512833180029648 + 1,53849954008894i

3.4.13 Demapping 64 QAM

Pada sisi penerima, proses demapping simbol adalah kebalikan dari proses mapping. Dalam proses ini, simbol-simbol yang diterima akan dipetakan kembali untuk menghasilkan bit data yang sesuai dengan modulasi 64 QAM. Tabel 3.12 merupakan hasil demapping dari data setelah melewati kanal.

Tabel 3.12 Demapping 64 QAM

No.	Demapping 64 QAM							
1	1	1	1	0	0	0	1	...

3.4.14 Deinterleaver

Proses *deinterleaver* adalah proses mengembalikan data yang telah diacak dengan menggunakan elemen pengacak yang telah ditetapkan pada sisi *interleaver*. Data dari proses demodulasi akan diubah sesuai dengan panjang dari kode *Reed Solomon* yaitu sepanjang 255 x 1. Data ini yang akan digunakan dalam proses *deinterleaver* yang selanjutnya digunakan untuk proses *decoding Reed Solomon*. Tabel 3.13 menunjukkan hasil *deinterleave* dari sistem.

Tabel 3.13 Deinterleaver

No.	Deinterleaver 255 X 1
1	140
2	37
3	130
...	...
237	161
238	33

No.	<i>Deinterleaver 255 X 1</i>
255	63

3.4.15 *Reed Solomon Decoder*

Langkah terakhir sekaligus langkah untuk menghitung BER pada sistem adalah *decoder Reed Solomon*. Pada proses ini, simbol redundan sebanyak 16 simbol dipisahkan dari simbol asli. Hasil dari *decoder Reed Solomon* adalah simbol sepanjang 239 seperti yang tertampil pada tabel 3.14.

Tabel 3.14 *Reed Solomon Decoder*

No.	<i>Reed Solomon Decoder 239 x 1</i>
1	140
2	37
3	130
...	...
237	158
238	75
255	158