

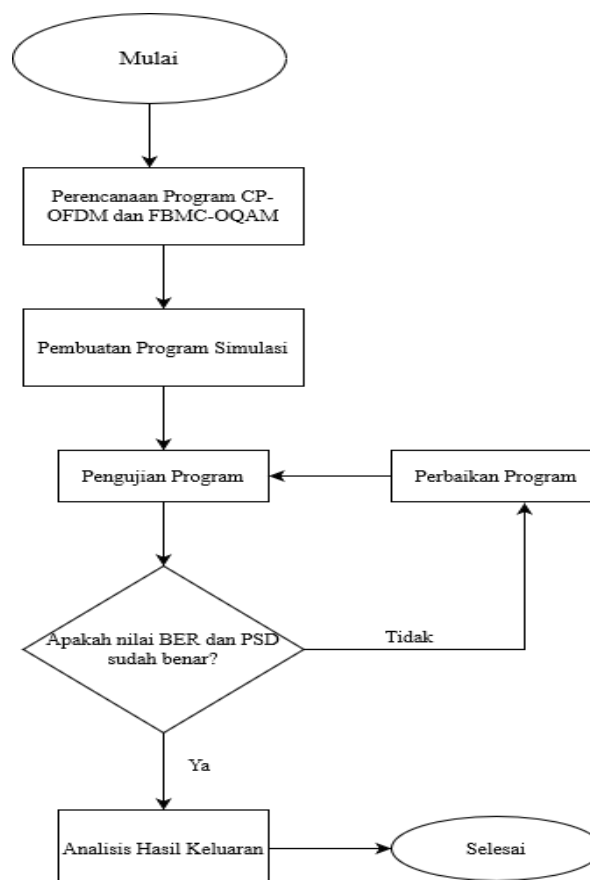
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 ALAT YANG DIGUNAKAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah software MATLAB R2015a. MATLAB adalah bahasa pemrograman dan lingkungan komputasi yang populer dan sering digunakan dalam berbagai bidang ilmu, termasuk dalam penelitian di bidang komunikasi dan sistem nirkabel.

3.2 ALUR PENELITIAN

Skema proses penyusunan skripsi, mengenai simulasi program perbandingan OFDM dan FBMC dengan aplikasi MATLAB, dideskripsikan dalam diagram alir (*flowchart*) yang terlihat di Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Rancangan Simulasi Program

Berikut ini penjelasan dari diagram CP-OFDM :

1. Mulai

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dari berbagai penelitian sebelumnya. Pada tahap ini peneliti melakukan perumusan dan batasan masalah yang akan diteliti.

2. Perencanaan Program CP-OFDM dan FBMC-OQAM

Pada tahap ini, peneliti melakukan research terlebih dahulu mengenai diagram pemodelan sistem seperti apa yang akan digunakan.

3. Pembuatan Program Simulasi

Setelah itu, peneliti langsung melakukan pembuatan simulasi pada software matlab dengan menggunakan parameter yang ada pada blok diagram pemodelan sistem baik untuk Teknik transmisi OFDM maupun FBMC.

4. Pengujian Program

Proses ini dilakukan uji coba dengan kode program dari parameter blok diagram pemodelan sistem.

5. Apakah nilai BER dan PSD sudah benar?

Pada tahap ini dilakukan pengecekan apakah nilai dari BER dan PSD yang dihasilkan sudah benar. Batas nilai interferensi yang direkomendasikan adalah 0 dB sampai -15dB. Sedangkan untuk nilai PSD sendiri berbicara tentang out of band. Jadi jika out of bandnya besar maka kondisi sinyal yang dikirimkan tidak bagus. Untuk range standarnya kita harus melihat teknik ini diimplementasikan pada jaringan komunikasi yang mana. Karena untuk range standar dari PSD tidak bisa disamakan secara umum.

6. Perbaikan Program

Tahap ini ada apabila terjadi kesalahan pada tahap pengujian yang menyebabkan nilai BER ataupun PSD mengalami kegagalan. Sehingga dilakukan peninjauan ulang dan perbaikan program pada tahap pembuatan program simulasi.

7. Analisis Hasil Keluaran

Tahap ini akan melakukan perbandingan hasil dari pengujian BER dan PSD sistem OFDM yang menggunakan Cyclic Prefix dengan sistem FBMC yang menggunakan modulasi OQAM.

8. Selesai

Dan proses tahap yang terakhir dari blok diagram flowchart penelitian ini adalah dengan membuat kesimpulan dari perbandingan yang telah lakukan sebelumnya.

3.3 POLA PEMODELAN SISTEM

3.3.1 Cyclic Prefix – OFDM

Berikut ini adalah penjabaran dari blok diagram CP-OFDM yang ada pada Gambar 2.2, yaitu:

1. Data Input

Pada tahap ini, akan dilakukan simulasi dengan memberikan sinyal *input* acak dengan menggunakan acuan *range* SNR dari -5 dB banding 2.5 sampai 20 dB. Terdapat beberapa bagian yang penting dalam simulasi ini, yaitu: *n_frames* yang dimana bagian ini menentukan jumlah *frame* (bingkai) data yang akan dihasilkan dalam simulasi. Jumlah *frame* dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan eksperimen atau analisis yang diinginkan. *Subcarrier* yang dimana variabel ini menentukan jumlah *subcarrier* dalam sistem, yang akan digunakan dalam teknik modulasi seperti OFDM atau FBMC. Jumlah *subcarrier* telah ditetapkan sebelumnya dan akan mempengaruhi lebar pita sinyal dan efisiensi sistem. Nilai bagian ini harus sesuai dengan nilai *subcarrier* yang telah ditentukan. Dan yang terakhir adalah *bit_per_symbol* yang dimana bagian ini menentukan jumlah bit yang digunakan untuk mewakili satu simbol dalam skema modulasi tertentu. Pada jenis modulasi 16-QAM, setiap simbol mewakili 4 bit data.

2. Serial to Parallel

Pada tahap *serial-to-parallel*, sinyal data yang termodulasi dengan teknik OFDM atau FBMC akan diubah dari bentuk serial (sekuensial) menjadi bentuk paralel (paralel) dengan membagi sinyal menjadi N subpembawa (*subcarrier*).

3. Modulasi Mapping

Tahap ini, *stream* dari sinyal OFDM dimodulasi secara tersendiri dengan memakai teknik modulasi 16-QAM. Teknik modulasi 16-QAM adalah salah satu jenis modulasi digital yang mewakili 4 bit informasi dalam satu simbol. Dalam 16-QAM, setiap simbol mewakili kombinasi dari 4 bit informasi. Dalam modulasi ini, pola konstelasi sinyal berbentuk kotak dengan 16 titik (16-QAM), dan setiap titik mewakili kombinasi amplitudo dan fase yang berbeda. Karena setiap simbol mewakili 4 bit data, maka terdapat 16 kombinasi yang berbeda untuk setiap simbol.

4. Invert Fast Forrier Transform (IFFT)

Blok ini bertujuan untuk melakukan perubahan data di domain frekuensi ke domain waktu dengan menggunakan teknik *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Metode IFFT merupakan tahap kunci dalam modulasi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Adapun persamaan umum yang dipakai untuk IFFT terdapat pada persamaan 2.3.

5. Cyclic Prefix

Cyclic Prefix ialah mekanisme penambahan simbol dengan cara mengambil beberapa simbol di akhir *frame* IFFT untuk dimasukkan pada awal *frame*. Penyisipan *guard interval* didomain waktu dengan memakai *cyclic prefix* (CP) adalah salah satu teknik penting dalam sistem OFDM untuk mengatasi efek *Inter-Symbol Interference* (ISI) yang terjadi dalam kanal nirkabel.

6. *Parallel to Serial*

Pergantian data paralel ke data seri pada sisi pengirim adalah bagian penting dari proses modulasi OFDM atau FBMC. Fungsi dari pengubah paralel ke seri adalah mengubah data paralel yang dihasilkan dari proses modulasi OFDM atau FBMC menjadi bentuk data seri yang dapat dikirimkan sebagai satu baris sinyal transmisi.

7. *Kanal Rician dan Rayleigh Fading*

Pada simulasi ini, kanal transmisi yang digunakan mencakup variasi kanal *Rician* dan *Rayleigh Fading*.

8. *Serial to Parallel*

Pergantian data seri ke data paralel pada sisi penerima adalah bagian penting dalam proses demodulasi OFDM atau FBMC. Fungsi dari pengubah data seri menjadi paralel (*serial-to-parallel converter*) adalah mengubah sinyal data yang diterima oleh antena penerima dari bentuk seri menjadi bentuk paralel, sehingga data dapat diproses secara terpisah untuk setiap sub pembawa atau *subcarrier*.

9. *Removal of Cyclic Prefix*

Penghapusan *guard interval* dengan penghapusan *cyclic prefix* (CP) dapat menyebabkan hilangnya puncak *guard interval* dalam sinyal.

10. *Fast Forrier Transform (FFT)*

Blok FFT berfungsi menyelesaikan pergantian dari domain waktu ke domain frekuensi, bukan dari urutan simbol-simbol OFDM ke bilangan kompleks sesuai dengan konstelasi *mapping* M-ary QAM. Persamaan umum FFT ada pada persamaan 2.4.

11. *Demapping*

Proses *demapping* di sistem OFDM, setiap sub pembawa dari sinyal OFDM didemodulasi secara tersendiri dengan menggunakan metode

demodulasi 16-QAM. Proses *demapping* bertujuan untuk mengembalikan data yang telah dimodulasi sebelumnya dengan teknik 16-QAM menjadi bentuk awalnya yaitu data digital dalam bentuk bit-bit informasi. 16-QAM.

12. Parallel to Serial

Parallel to serial bertujuan untuk mengganti data dari domain frekuensi ke domain waktu dalam bentuk stream data seri.

13. Data Output

Dihasilkan perhitungan *output* dalam gambar grafik *Bit Error Rate* (BER). Grafik BER digunakan untuk menganalisis kualitas transmisi dalam sistem komunikasi dengan membandingkan data *input* dan data *output* untuk menghitung nilai *bit* yang *error*. Proses perhitungan BER dilakukan dengan membandingkan data digital pada sisi pengirim (data *input*) dengan data digital pada sisi penerima (data *output*) setelah melalui proses demodulasi dan dekoding. Data *output* adalah hasil dari proses demodulasi dan dekoding yang telah dilakukan pada data yang telah dikirim melalui jalur transmisi atau kanal nirkabel.

3.3.2 FBMC-OQAM

Berikut ini adalah penjabaran dari blok diagram FBMC-OQAM yang ada pada Gambar 2.6 yaitu:

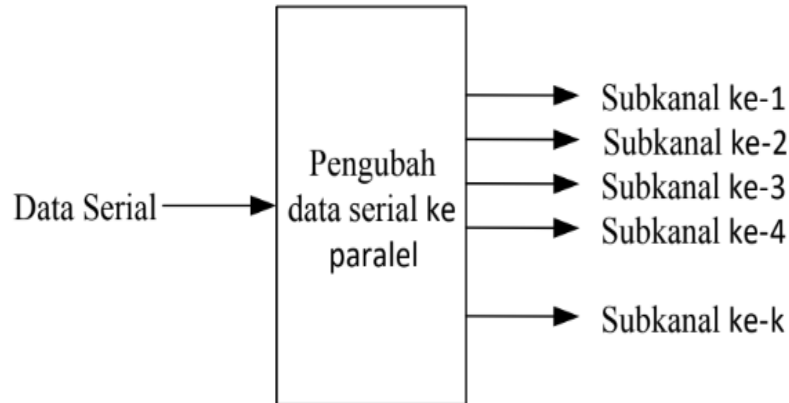
Data Masukan

Data yang di input ke program simulasi ini biasanya berupa data *random* dalam bentuk bit biner, yaitu satu (1) dan nol (0). Setiap bit biner mewakili satu bit informasi. Jumlah total bit yang digunakan untuk simulasi ditentukan sebelumnya dan dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan simulasi.

1. Pengubah Data Seri Ke Pararel (S/P)

Proses yang mengganti data bit seri ke data paralel adalah proses "*serial to parallel converter*". Pada tahap ini, data bit yang sebelumnya berada dalam data seri, yaitu baris data kontinu, akan diubah menjadi data

paralel dengan mengklasifikasi bit-bit tersebut sesuai level modulasi yang digunakan. Simulasi klasifikasi tertera pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengubah data seri ke paralel

2. Mapping 16-QAM

Pada tabel 3.1 terdapat *Mapping* dari modulasi 16-QAM. Tahap ini dilakukan modulasi 16 QAM dari hasil keluaran pengubah S/P. Modulasi 16-QAM bertujuan untuk mengganti data input biner ke bentuk bilangan kompleks menggunakan dua komponen, yaitu *inphase* (I) atau bilangan riil dan *quadrature* (Q) atau bilangan imajiner.

Tabel 3.1 Mapping 16-QAM [29]

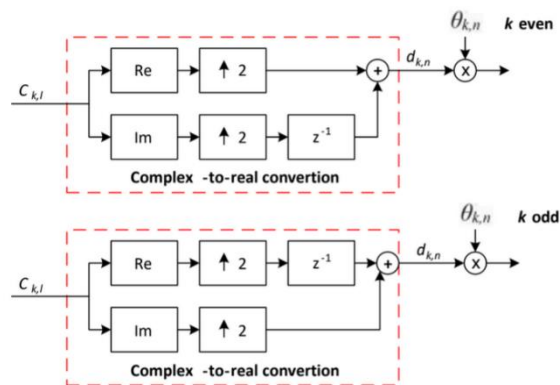
No	Biner 4 bit				Bilangan Kompleks (x)
	Bit-4	Bit-3	Bit-2	Bit-1	
1	0	0	0	0	$0,3162 + 0,3162 i$
2	0	0	0	1	$- 0,3162 + 0,3162 i$
3	0	0	1	0	$0,3162 - 0,3162 i$
4	0	0	1	1	$-0,3162 - 0,3162 i$
5	0	1	0	0	$0,9486 + 0,3162 i$
6	0	1	0	1	$- 0,9486 + 0,3162 i$
7	0	1	1	0	$0,9486 - 0,3162 i$
8	0	1	1	1	$- 0,9486 - 0,3162 i$
9	1	0	0	0	$0,3162 + 0,9486 i$

No	Biner 4 bit				Bilangan Kompleks (x)
	Bit-4	Bit-3	Bit-2	Bit-1	
10	1	0	0	1	$-0,3162 + 0,9486 i$
11	1	0	1	0	$0,3162 - 0,9486 i$
12	1	0	1	1	$-0,3162 - 0,9486 i$
13	1	1	0	0	$0,9486 + 0,9486 i$
14	1	1	0	1	$-0,9486 + 0,9486 i$
15	1	1	1	0	$0,9486 - 0,9486 i$
16	1	1	1	1	$-0,9486 - 0,9486 i$

3. Pra Pengolahan OQAM

Simbol yang telah dimodulasi 16-QAM akan dipisahkan menjadi simbol-simbol ganjil dan genap berdasarkan urutannya. Proses ini juga dikenal sebagai "*conjugate symmetry*" pada sistem FBMC. Setelah dipisahkan, simbol-simbol tersebut akan diolah dengan dua teknik, yaitu:

1. Proses peralihan bilangan kompleks ke bilangan riil.
2. Proses perkalian $\theta_{k,n}$.



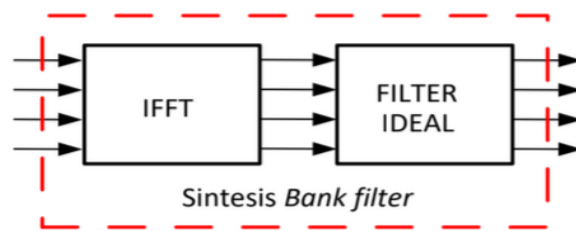
Gambar 3.3 Pra Pengolahan OQAM untuk saluran ganjil dan genap.

Pada gambar 3.3 terlihat proses pengolahan OQAM untuk saluran ganjil dan genap. Setelah proses ini selesai, symbol ganjil dan genap yang telah diolah akan siap untuk diproses lebih lanjut. Prosedur ini memastikan

Conjugate symmetry yang memungkinkan efisiensi dalam proses transmisi secara optimal pada kanal transmisi.

4. Sintetis Bank Filter

Pada gambar 3.4 terlihat proses *sintetis bank filter* dimana simulasi ini melibatkan proses kebalikan *Transformasi Fourier* dan proses filter dengan asumsi penggunaan filter ideal atau filter kotak, simbol yang ada akan langsung diteruskan tanpa adanya data yang dihilangkan.



Gambar 3.4 Proses *sintetis bank filter*

5. Pergantian Pararel ke Seri

Pergantian paralel ke seri di sisi pengirim memiliki fungsi untuk mengganti keluaran dari *Sintesis Bank Filter* yang semula berbentuk data paralel ke data seri, sehingga data tersebut dapat diteruskan sebagai satu jalur atau aliran data tunggal melalui jalur transmisi atau kanal nirkabel.

6. Pemodelan Kanal Transmisi

Pada simulasi ini digunakan variasi kanal transmisi yang mencakup kanal *Rician* dan *Rayleigh Fading*. Kedua jenis kanal ini merupakan model kanal nirkabel yang umum digunakan untuk menggambarkan karakteristik transmisi pada saluran nirkabel.

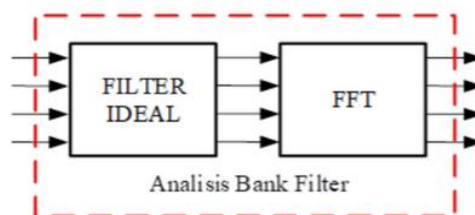
7. Pergantian Seri menjadi Pararel (S/P)

Pergantian data seri ke paralel pada sisi penerima memiliki fungsi untuk mengubah keluaran dari antenna penerima yang awalnya data seri menjadi data paralel. Proses ini diperlukan untuk memisahkan data dari jalur transmisi tunggal menjadi kelompok-kelompok data yang sesuai

dengan jumlah subpembawa atau subfilter yang digunakan pada proses analisis bank filter selanjutnya.

8. Analisis *Bank filter*

Proses analisis *bank filter* merupakan kebalikan dari proses Sintesis Filter Bank dalam konteks pemrosesan sinyal. Analisis *bank filter* melibatkan dua tahap utama, yaitu proses transformasi *fourier* dan proses filter. Tahap pertama dalam analisis bank filter adalah proses transformasi *fourier*. Pada tahap ini, data yang telah diterima dari pengubah data seri menjadi paralel akan diubah dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan transformasi *fourier*. Tahap kedua dalam Analisis Bank Filter adalah proses filter. Pada tahap ini, data dalam domain frekuensi yang telah dihasilkan dari tahap transformasi *fourier* akan melewati filter. Filter yang digunakan dalam tahap ini ialah kebalikan dari filter yang digunakan pada tahap *Sintesis Filter Bank*. Filter ini bertujuan untuk memisahkan sinyal-sinyal pada subpembawa atau subfilter, sehingga menghasilkan data dalam bentuk domain frekuensi yang asli sebelum dilakukan modulasi. Pada gambar 3.5 proses Analisis Bank Filter ini mengembalikan data ke bentuk aslinya sebelum dilakukan modulasi. Data yang telah melewati tahap Analisis Bank Filter siap untuk diubah menjadi bentuk bit asli menggunakan proses demodulasi pada tahap selanjutnya dalam sistem komunikasi.

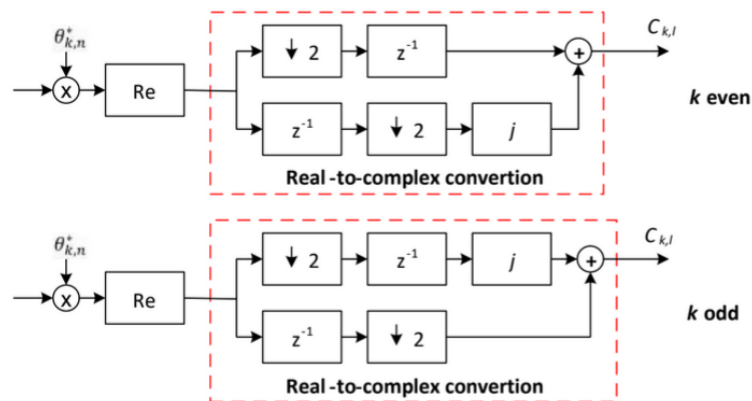


Gambar 3.5 Analisis Bank Filter

Pada bagian penerima filter digunakan filter ideal atau filter kotak. Filter ini bertujuan untuk memisahkan sinyal pada setiap subpembawa atau subfilter setelah proses transformasi *fourier* pada tahap Analisis Bank Filter. Dengan menggunakan filter ideal atau filter kotak, simbol yang ada akan langsung diteruskan tanpa ada data yang dihapuskan.

9. Pasca Pengolahan OQAM

Pada tahap pasca pengolahan OQAM, sinyal yang telah melalui tahap pra pengolahan OQAM akan diolah kembali untuk mengembalikan bentuk aslinya sebelum proses pra pengolahan. Blok pasca pengolahan OQAM mempunyai dua bentuk yang berbeda sesuai urutan kanal ganjil atau kanal genap. Simulasinya dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pasca Pengolahan OQAM Untuk Aliran Ganjil dan Genap

10. Demapping 16-QAM

Pada bagian penerima dalam komunikasi digital menggunakan modulasi 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), terjadi proses demapping untuk mengembalikan data ke bentuk semula sebelum dilakukan modulasi. Proses demapping ini disebut juga sebagai demodulasi. Semua simbol yang telah melewati jalur transmisi dan mengalami pengaruh kanal dan derau akan dipetakan kembali untuk membentuk empat bit data asli yang dikirimkan oleh antena pengirim. Pada proses *demapping* 16-QAM, dilakukan pengambilan keputusan untuk menentukan simbol yang sebenarnya dikirimkan oleh antena pengirim. Pengambilan keputusan ini didasarkan pada analisis nilai kompleks dari simbol-simbol QAM yang diterima, dengan memperhitungkan pengaruh kanal dan derau yang menyebabkan distorsi pada sinyal. Dengan demikian, sinyal-sinyal yang diterima dapat dikembalikan menjadi empat bit data yang merupakan data asli yang dikirimkan oleh antena pengirim.

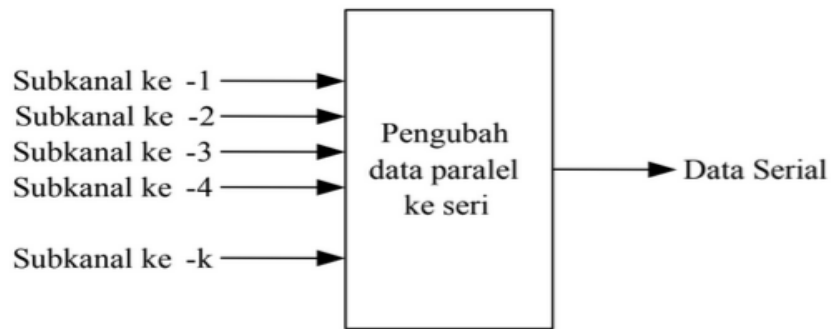
Setelah dilakukan pengambilan keputusan, data akan berupa komponen bilangan riil dan imajiner yang kemudian dikembalikan kembali menjadi bit-bit data asli. Data ini akan menjadi hasil akhir dari proses demapping 16-QAM dan siap untuk diproses lebih lanjut dalam tahap selanjutnya. Aturan pengambilan keputusan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Demapping 16-OQAM [30]

No	Riil (x)	Imajiner (y)	Keluaran
1	$0,6324 > x > 0$	$0 < y < 0,6324$	0 0 0 0
2	$-0,6324 < x < 0$	$0 < y < 0,6324$	0 0 0 1
3	$0,6324 > x > 0$	$0 > y > -0,6324$	0 0 1 0
4	$-0,6324 < x < 0$	$0 > y > -0,6324$	0 0 1 1
5	$x > 0,6324$	$0 < y < 0,6324$	0 1 0 0
6	$x < -0,6324$	$0 < y < 0,6324$	0 1 0 1
7	$x > 0,6324$	$0 > y > -0,6324$	0 1 1 0
8	$x < -0,6324$	$-0,6324 < y < 0$	0 1 1 1
9	$0,6324 > x > 0$	$y > 0,6324$	1 0 0 0
10	$-0,6324 < x < 0$	$y > 0,6324$	1 0 0 1
11	$0,6324 > x > 0$	$y < -0,6324$	1 0 1 0
12	$-0,6324 < x < 0$	$y < -0,6324$	1 0 1 1
13	$x > 0,6324$	$y > 0,6324$	1 1 0 0
14	$x < -0,6324$	$y > 0,6324$	1 1 0 1
15	$x > 0,6324$	$y < -0,6324$	1 1 1 0
16	$x < -0,6324$	$y < -0,6324$	1 1 1 1

11. Pengubah Pararel menjadi Serial (P/S)

Blok yang mengubah data paralel menjadi data seri terlihat pada Gambar 3.7 yang bertujuan untuk mengubah bentuk data paralel menjadi data seri.



Gambar 3.7 Pengubah data paralel menjadi seri

Proses ini melibatkan pengelompokkan empat bit biner keluaran dari *demapping* 16-QAM menjadi satu baris sebagai keluaran dari proses *demapping* 16-QAM ke data serial.

12. Data Keluaran

Pada tahap ini akan dihasilkan nilai output dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER). *Bit Error Rate* adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas transmisi data pada sistem komunikasi. Perhitungan BER dilakukan dengan membandingkan data *input* dengan data *output* pada penerima.

3.4 PARAMETER SIMULASI

Parameter yang digunakan dalam simulasi CP-OFDM dan FBMC-OQAM yaitu modulasi digital 16-QAM yang kemudian dirubah ke dalam bentuk modulasi OFDM maupun OQAM. Simulasi ini dijalankan dengan menggunakan program yang ada di aplikasi Matlab. MATLAB adalah lingkungan komputasi numerik yang sering digunakan untuk simulasi dan analisis dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk komunikasi nirkabel. Parameter *Bit Error Rate* (BER) dan *Power Spectral Density* (PSD) digunakan sebagai parameter pengujian sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan kinerja BER dan PSD baik dalam Teknik transmisi CP-OFDM dan OQAM pada kanal rician *fading* maupun Teknik transmisi CP-OFDM dan FBMC-OQAM pada kanal *Rayleigh fading*. Dengan membandingkan kinerja BER dan PSD antara CP-OFDM dan FBMC-OQAM dalam kedua kondisi kanal, penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang

lebih baik tentang bagaimana kedua teknik ini berkinerja dalam berbagai situasi komunikasi nirkabel, termasuk ketika terjadi fading dalam kanal transmisi. Hasil ini dapat digunakan untuk memilih teknik transmisi yang paling sesuai dalam lingkungan komunikasi tertentu.

Pada simulasi penelitian ini menggunakan data masukan sebanyak 52.000 bit. Jadi variabel n *frames* memiliki nilai yang dapat dirubah sesuai kebutuhan dan sistem berkinerja dalam mengirim dan menerima data dalam paket-paket yang berbeda. Kemudian untuk variabel bit per simbol memiliki nilai 4 untuk jenis modulasi 16-QAM ini. Proses S/P pada modulasi 16-QAM ini bertujuan untuk membagi data biner yang awalnya berbentuk serial menjadi paralel yang terdiri atas simbol-simbol yang dihasilkan. Selain itu dapat diketahui bahwa proses ini bertujuan untuk mengubah data yang setiap empat bit biner menjadi bentuk simbol baru yang berbentuk bilangan kompleks, yang mana bilangan kompleks ini merupakan bilangan yang terdiri dari bilangan riil dan imajiner.