

Analisis Unjuk Kerja *Improved Sinc Power Pulse* pada Sistem OFDM Melalui Kanal *Frequency Selective Fading*

Kadek Agus Mahabojana Dwi Prayoga¹, Ni Made Esta Dewi Wirastuti², Nyoman Pramaita³

Submission: 13-07-2019, Accepted: 02-09-2019

Abstract— The combination OFDM (orthogonal frequency division multiplexing), and pulse shaping are expected to reduce the effects of Inter Carrier Interference (ICI) and error occurred. This study aimed to compare the performance of OFDM without pulse shaping and OFDM with pulse shaping *Improved Sinc Power (ISP) pulse* through *Frequency Selective Fading* channel, in terms of BER (bit error rate) vs. Eb/No (energy per bit to noise power spectral density ratio). This study implemented simulation using Matlab R2018a. The results of the simulation OFDM with *ISP pulse* system performance has better results than OFDM without pulse shaping. In the transmission *Frequency Selective Fading* channel, to reach 10^{-1} BER value in OFDM with *ISP pulse* was required Eb/No of 2 dB. While the OFDM without pulse shaping systems required Eb/No 10 dB.

Intisari— Kombinasi antara sistem OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) dan *Pulse Shaping* mampu mengurangi *Inter Carrier Interference (ICI)* dan error yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan performansi dari sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dan OFDM dengan *pulse shaping Improved Sinc Power (ISP) pulse* yang melalui kanal *Frequency Selective Fading*, ditinjau dari BER (bit error rate) berbanding Eb/No (energy per bit to noise power spectral density ratio). Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan menggunakan program Matlab R2018a. Hasil dari simulasi didapat unjuk kerja sistem OFDM dengan *pulse shaping ISP pulse* memiliki hasil yang lebih baik dari OFDM tanpa *pulse shaping*. Pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-1} sistem OFDM dengan *pulse shaping ISP pulse* dibutuhkan Eb/No sebesar 2 dB. Sedangkan pada sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dibutuhkan Eb/No sebesar 10 dB.

Kata Kunci— OFDM, *Pulse Shaping*, ICI, *ISP pulse*, *Frequency Selective Fading*.

I. PENDAHULUAN

Teknologi LTE (*Long Term Evolution*) merupakan salah satu teknologi yang digunakan dalam mewujudkan layanan komunikasi yang cepat dan baik pada komunikasi wireless. Teknologi LTE ini menggunakan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) untuk *downlink* dan SC-FDMA (*Single-Carrier Frequency Division Multiple Access*) untuk *uplink*. OFDM merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier* satu dengan yang lain saling

orthogonal. Karena sifat *orthogonal* ini, maka antar *subcarrier* dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek ISI (*inter symbol interference*). Dengan *multiplexing subcarrier* yang dilakukan secara *overlap* tersebut tentu saja dapat menghemat *bandwidth*. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan hanya pada penggunaan *subcarrier* yang saling *orthogonal* pada masing-masing subkanal [1].

Namun, dalam teknik OFDM itu sendiri terdapat beberapa kelemahan, salah satunya sangat sensitif terhadap *frequency offset* yang akan menyebabkan ICI. Adanya ICI akan mengurangi performansi dari sistem OFDM [2]. Sehingga reduksi ICI secara akurat dan efisiensi sangat dibutuhkan untuk demodulasi data yang diterima. Beberapa metode telah diusulkan dalam mereduksi ICI ini diantaranya dengan metode *pulse shaping*.

Salah satu metode dalam mengatasi penyebab utama ICI adalah dengan *pulse shaping* dimana pada sistem OFDM *subcarrier* di filter ketika masih dalam keadaan saling *orthogonal* sehingga pada saat di penerima efek interferensi dari *sidelobe subcarrier* lain telah tereduksi [3]. Kombinasi OFDM dengan *Pulse Shaping* menggunakan *Improved Sinc Power (ISP) pulse* diharapkan dapat menghasilkan sistem yang lebih baik dengan menggabungkan keunggulan masing-masing sistem.

Jadi pada penelitian ini, akan melakukan simulasi unjuk kerja dari sistem OFDM tanpa menggunakan teknik *Pulse Shaping* dan sistem OFDM dengan menggunakan teknik *Pulse Shaping* yaitu jenis *ISP pulse* pada kanal *Frequency Selective Fading*. Kemudian membandingkan unjuk kerja dari masing-masing sistem untuk mengetahui sistem mana yang memiliki unjuk kerja yang paling baik. Kebaruan dari penelitian ini dari penelitian sebelumnya yaitu menggunakan kanal transmisi *Frequency Selective Fading* dan penelitian ini dilakukan simulasi yang diarahkan kepada standar 4G-LTE sehingga parameter-parameter yang digunakan mengacu pada standar 4G-LTE tersebut.

II. OFDM IMPROVED SINC POWER PULSE DAN FREQUENCY SELECTIVE FADING

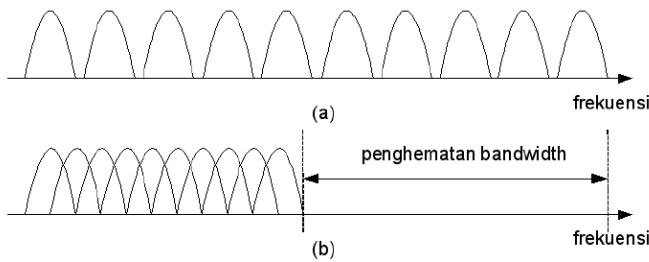
A. OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan teknik *multiplexing* yang digunakan pada sistem komunikasi digital dengan menggunakan beberapa frekuensi yang akan membagi *bandwidth* menjadi beberapa *subcarrier* yang saling *orthogonal*. OFDM akan membagi data *serial* dengan *bit rate* tinggi menjadi N buah data *parallel* dengan *bit rate* rendah yang kemudian ditransmisikan melalui beberapa *subcarrier* tersebut [4].

¹Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Panglima Besar Sudirman Denpasar, Bali 80232 (tel: 0361-555225; fax: 0361-4321982; e-mail: mahabojanadwi1@gmail.com)

^{2, 3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (tel: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: dewi.wirastuti@ee.unud.ac.id)





Gambar 1 : Perbandingan FDM dan OFDM

B. ISP (Improved Sinc Power)Pulse

Pada spektrum OFDM, setiap *subcarrier*-nya terdiri dari *main lobe* dan banyak *sidelobe*. Ketika orthogonalitas diantara *subcarrier* berkurang maka *side lobe* tersebut akan berpotensi memunculkan daya ICI pada daerah tengah dari setiap *subcarrier*. Daya ICI akan meningkat ketika frekuensi *offset* meningkat. Tujuan penggunaan *pulse shaping* ini adalah untuk menghilangkan *side lobe* tersebut sehingga ICI akan tereduksi dan kemudian mampu meningkatkan performansi dari sistem OFDM tersebut [5].

Improved Sinc power Pulse (ISP) sebagai modifikasi bentuk *pulse* yang dijabarkan dalam persamaan

$P_{ISP}(f) = e^{-\alpha(fT)^2} sinc^n(f)$, kemudian *frequency offset* disubstitusi kedalam persamaan menjadi:

$$P_{ISP}(\Delta f) = e^{-\alpha(\Delta fT)^2} sinc^n(\Delta f) \quad (1)$$

Dimana Δf menyatakan *carrier frequency offset* diantara osilator pengirim dan penerima dan Δ menyatakan nilai *normalized frequency offset*. Parameter α digunakan untuk mengatur amplitudo dan n menyatakan derajat fungsi *sinc*.

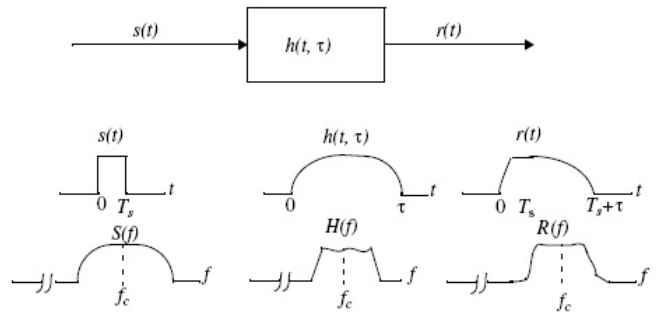
C. AWGN (Additive White Gaussian Noise)

AWGN merupakan Salah satu jenis *noise* yang ada pada sistem komunikasi adalah *noise thermal*. *Noise* ini merusak sinyal dalam bentuk aditif, yaitu ditambahkan ke sinyal utama. Maka, *noisethermal* pada perangkat penerima ini disebut *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Arti dari kata *additive* ialah bahwa *noise* ini bersifat menambah *power spectral density* dari sinyal transmisi, *white* artinya memiliki persebaran merata pada semua *band*, dan merupakan *noise* yang terbangkitkan dengan distribusi *Gaussian* yaitu dengan nilai *mean* nol dan standar deviasi bernilai satu [6].

D. Frequency Selective Fading

Suatu sinyal dikatakan melalui *frequency selective fading*, jika sinyal yang ditransmisikan itu memiliki lebar pita (*bandwidth*) lebih besar dari *bandwidth* kanal radio dan tanggapan impuls kanal yang memiliki *delay spread* lebih besar dari periode symbol. Sinyal yang diterima terdiri dari beberapa sinyal yang ditransmisikan, yang sudah teredam dan terjadi waktu tunda sehingga sinyal yang diterima akan terdistorsi. *Frequency Selective Fading* menyebabkan terjadi disperse waktu dari simbol yang ditransmisikan. Kanal seperti ini yang menyebabkan interferensi antar simbol (ISI), [7].

Gambar 2 menunjukkan karakteristik dari kanal *frequency selective fading*.



Gambar 2 : Karakteristik Frequency Selective Fading

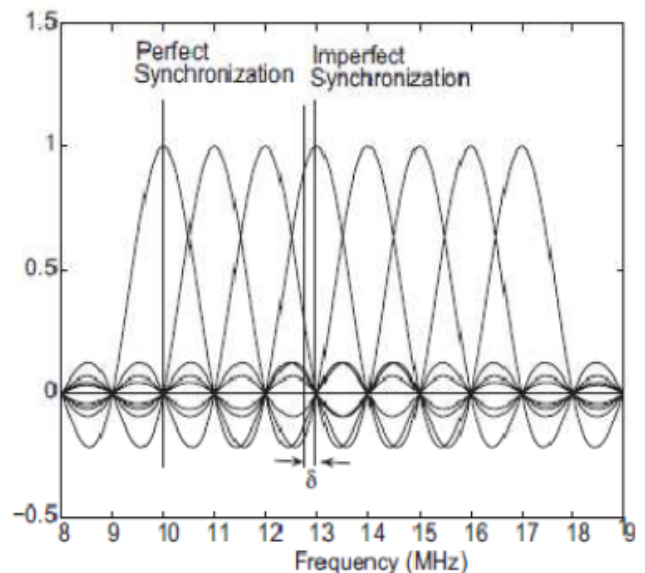
E. Distribusi Rayleigh

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *flatfading* yang diterima atau selubung dari satu komponen *multipath* yang telah diasumsikan sebelumnya menjadi distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* digunakan untuk mendeskripsikan keadaan pada suatu kanal dimana distribusi *Rayleigh* mempunyai *probabilitas density function* sesuai dengan Persamaan (2) sebagai berikut [7]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (2)$$

F. ICI (Inter Carrier Interference)

ICI terjadi karena adanya pergeseran frekuensi kerja sistem OFDM atau sering disebut sebagai frekuensi *offset*. Penyebab frekuensi *offset* adalah *Doppler shift* yang diakibatkan adanya pergerakan relatif antara pemancar dan penerima dan juga disebabkan adanya perbedaan antara frekuensi osilator di penerima dan di pemancar [8].



Gambar 3 : Inter Carrier Interference

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dimana bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari *Improved Sinc Power (ISP) pulse* pada sistem OFDM melalui kanal *Frequency Selective Fading*. Simulasi yang akan dilakukan pertama yaitu dengan menjalankan sistem OFDM tanpa menggunakan *pulse shaping*, kemudian menjalankan simulasi sistem OFDM yang menggunakan *pulse shaping ISP pulse*. Selanjutnya membandingkan unjuk kerja dari kedua sistem tersebut.

A. Alur Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dimulai dengan melakukan pemodelan sistem dalam software Matlab R2018a. Hasil dari simulasi yang dilakukan pada software Matlab R2018a berupa grafik dan nilai BER berbanding Eb/No yang kemudian akan analisis.

B. Parameter Simulasi

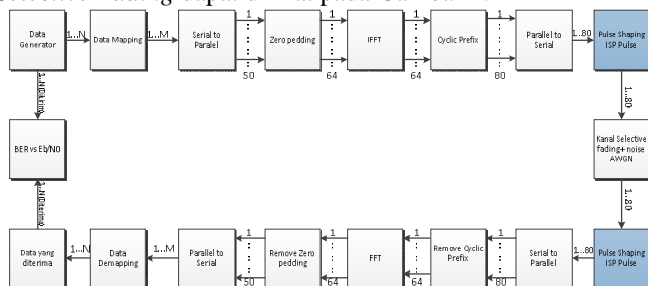
Adapun parameter simulasi yang digunakan dalam pemodelan sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dan sistem OFDM dengan *ISP pulse* dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
 PARAMETER SIMULASI

| Parameter | Nilai yang digunakan |
|------------------------------|--|
| Jumlah <i>subcarrier</i> | 64 |
| Jumlah simbol FFT | 64 |
| Tipe modulasi | QPSK |
| <i>Zero Padding</i> | 14 |
| Jumlah bit per OFDM | 50 |
| <i>Guard interval type</i> | <i>Cyclic prefix</i> |
| Panjang <i>cyclic prefix</i> | 16 |
| Nilai Eb/No | -10 : 1 : 10 |
| Jumlah bit yang input | 100.000 bit (<i>Random</i>) |
| <i>Pulse Shaping type</i> | <i>ISP pulse</i> |
| Jenis Kanal | AWGN + <i>Frequency selective fading</i> |

C. Pemodelan Sistem OFDM ISP Pulse

Pada penelitian ini, pemodelan sistem OFDM dikombinasikan dengan *ISP pulse* pada kanal *Frequency Selective Fading* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 : Pemodelan Sistem OFDM dengan *ISP pulse*

Adapun penjelasan masing-masing blok diagram sistem OFDM dengan penerapan metode *pulse shaping* adalah sebagai berikut:

• Blok Pengirim

Data yang dikirimkan berupa *input* bilangan biner secara acak dimana pengiriman data akan melalui blok-blok diagram sebagai berikut:

1. *Input Data*

Input data adalah deretan data yang dibangkitkan pada *single user* menggunakan fungsi *randint* pada Matlab, sehingga deretan data memiliki pola acak (*random*) berupa data biner bernilai 0 dan 1. Pada simulasi dilakukan pengiriman sebanyak 100.000 *bit* diinisialisasikan jumlahnya dari 1 sampai dengan N dimana N bernilai 100.000.

2. *Mapping Data*

Pada blok ini data-data biner akan diubah menjadi simbol-simbol data sesuai dengan konstelasi modulasi digital yang digunakan. Signal *mapper* yang dipakai dalam penelitian ini adalah QPSK dimana konstelasi dari *mapper* QPSK menghasilkan 2 bit per simbol untuk dimodulasikan. Sehingga yang awalnya ada jumlah bit dari 1 sampai N akan menghasilkan jumlah simbol sebanyak N/2 simbol yang kemudian dinotasikan dengan 1 sampai dengan M ($M = N/2$).

3. *Serial to parallel*

Blok *serial to parallel* berfungsi untuk mengubah deretan data *serial* menjadi deretan data *parallel* dimana tujuannya adalah untuk menaikkan *time* periode dari deretan data dengan sinyal yang masuk sehingga akan terjadi penurunan *rate*. Dalam proses *serial to parallel* ini akan menghasilkan matriks dengan 50 baris dan beberapa kolom yang mana jumlah kolom disesuaikan berdasarkan hasil pembagian variabel X dengan 50 (*subcarrier*). Tiap satu kolom yang terdiri atas 50 baris dalam matriks hasil perubahan *serial to parallel* merupakan satu simbol OFDM.

4. *Add Zero Padding*

Pada *Zero Padding (ZP)*, dilakukan penyisipan *bit* nol pada tiap-tiap simbol untuk mencegah terjadinya *Inter Carrier Interference (ICI)* dan bertujuan untuk agar deretan data *parallel* sesuai dengan jumlah simbol IFFT. Jumlah *zero padding* yang digunakan adalah 14, sehingga setiap simbol OFDM memiliki ukuran 64 baris.

5. IFFT (*Invers Fast Fourier Transform*)

Blok IFFT memiliki fungsi sebagai *baseband* modulator yang akan membangkitkan nilai *subcarrier* yang saling *orthogonal* dimana dalam simulasi hasil simbol *mapper* akan diproses dengan menggunakan pemanggilan fungsi *ifft* pada Matlab. Dalam penelitian ini digunakan jumlah *point* IFFT atau jumlah *subcarrier* yang digunakan adalah sebanyak 64.



6. Add Cyclix Prefix

Penambahan *Cyclic Prefix* (CP) bertujuan untuk mencegah terjadinya *Inter Simbol Interference* (ISI) yang dapat dilakukan dengan penambahan simbol secara periodik atau yang dikenal dengan penambahan pilot. Penambahan pilot ini dapat mengurangi terjadinya *Inter Carrier Interference* (ICI) dan membantu menjaga ke-orthogonalitasan sinyal. Besarnya jumlah simbol yang ditambahkan adalah 1/4 dari jumlah *subcarrier* yang digunakan dimana sinyal pilot ini nantinya akan dihilangkan pada sisi penerima sehingga yang diterima hanya sinyal atau deretan data informasi saja. Berdasarkan penelitian ini panjang CP yang digunakan sebesar 16 baris sehingga panjang simbol OFDM akan berubah dari 1 sampai ke 80.

7. Parallel to serial

Blok ini berfungsi untuk menggabungkan data *parallel* berupa *output* IFFT menjadi data *serial* yang disebut sebagai satu simbol OFDM dimana apabila *output* IFFT memiliki ukuran matriks 80x1 maka matriks *output* data *parallel to serial* akan menjadi 1x80.

8. Pulse Shaping Function

Blok ini berfungsi membentuk *pulse* dari simbol-simbol yang ada. Setiap simbol yang ditransmisikan akan dikalikan dengan fungsi *pulse* yang digunakan dimana pada simulasi ini digunakan jenis *pulse shaping Rectangular Pulse* dan dibandingkan dengan *pulse shaping Improved Sinc power Pulse* (ISP). Tujuan penggunaan metode *pulse shaping* adalah untuk menghilangkan daya *side lobe* yang dapat berpotensi memunculkan daya ICI dimana penggunaan *Pulse Shaping* dapat mengurangi daya ICI.

• Pemodelan Kanal

Pada simulasi sistem OFDM ini digunakan jenis kanal *Frequency selective fading* yang terdistribusi *Rayleigh* dimana masing-masing respon kanal yang terdistribusi *Rayleigh* ditambahkan dengan *noise* AWGN.

• Pemodelan ICI

Untuk pemodelan sistem yang mengalami efek *Inter Carrier Interference* (ICI) dinyatakan dengan persamaan (2.19) sebagai berikut:

$$s'_m = \left(s_m P(-\Delta f) + \sum_{k=0}^{N-1} s_k P\left(\frac{m-k}{T} - \Delta f\right) \right) e^{j\phi} + n_m$$

Adanya efek ICI pada simbol yang diterima dinyatakan dengan variable Δf yang disebut dengan *carrier frequency offset* dimana selanjutnya besarnya nilai *carrier frequency offset* tersebut akan dinormalisasi terhadap besarnya nilai *subcarrier spacing* yang kemudian disebut *normalized frequency offset* sebesar $\Delta f T$. Nilai $\Delta f T$ atau ϵ inilah yang akan menunjukkan seberapa besar pergeseran *subcarrier* yang dideteksi oleh *oscillator* penerima dimana nilai dari $|\Delta f T| \leq 1$. Dalam simulasi pemodelan rumus tersebut dilakukan setelah *output* dari *parallel to serial*.

• Blok Penerima

Setelah melewati proses pada kanal maka data akan diproses di bagian penerima dimana prosesnya merupakan kebalikan fungsi dari blok pengirim. Adapun penjelasan blok-blok diagram di bagian penerima atau *receiver* adalah sebagai berikut:

1. Pulse Shaping Function

Pada sisi *receiver* juga terdapat proses *pulse shaping* dimana proses *pulse shaping* yang terjadi di *receiver* merupakan kebalikan dari proses *pulse shaping* pada sisi *transmitter*.

2. Serial to Parallel

Setelah melewati kanal, data informasi yang berbentuk *serial* akan diterima dan kemudian dibagi ke dalam setiap lengan menjadi data *parallel*.

3. Remove Cyclix Prefix

Simbol *Cyclic Prefix* yang telah disisipkan pada data sebelumnya di bagian *transmitter* akan dipisahkan dan dibuang kembali sehingga hanya diperoleh data masukan yang sebenarnya dikirim. Proses ini merupakan kebalikan dari proses penambahan *cyclic prefix* pada blok pengirim. Sehingga jumlah baris OFDM yang sebelumnya 80 baris dalam satu simbol sekarang menjadi 64 baris dalam satu simbol OFDM.

4. Fast Fourier Transform (FFT)

FFT merupakan kebalikan dari proses IFFT dimana FFT digunakan untuk menganalisis sinyal pada domain frekuensi. Ukuran FFT ini sama dengan ukuran IFFT yaitu 64 dan menggunakan data dalam aliran *parallel*.

5. Remove Zero Padding

Simbol *Zero Padding* yang disisipkan sebelumnya pada bagian *transmitter* akan dipisahkan kembali pada blok ini sehingga didapatkan data masukan awal. Sehingga dalam satu simbol OFDM akan kembali dihasilkan 50 baris.

6. Parallel to Serial

Blok ini berfungsi untuk menggabungkan kembali data informasi setiap lengan sebelumnya yang berbentuk *parallel* menjadi deretan data *serial*. Kemudian pilot yang ditambahkan pada sisi transmisi akan dihilangkan kembali setelah data berbentuk *serial* sehingga *output* yang diterima berupa data informasi saja.

7. Demapping Data

Demapping berfungsi untuk merekonstruksi kembali data yang dikirim berdasarkan nilai simbol data yang diterima agar sesuai dengan konstelasi modulasi yang digunakan pada sisi *transmitter*.

• Perhitungan BER

Salah satu cara untuk mengetahui performansi dari suatu sistem komunikasi dapat dilihat dengan menghitung jumlah

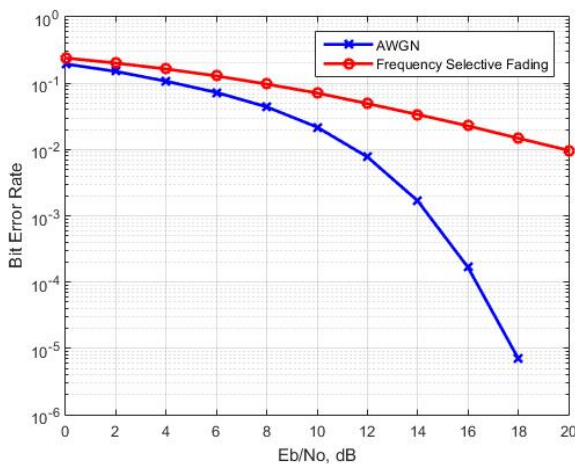
data yang *error* pada *receiver* yang dikenal dengan *Bit Error Rate* (BER). BER dilakukan dengan membandingkan data yang diterima dengan data yang dikirim yang kemudian dibandingkan dengan *Eb/No* (*Energy Bit per Noise*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Sistem OFDM Tanpa Pulse Shaping

Simulasi OFDM tanpa *pulse shaping* bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem OFDM pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* berdasarkan parameter BER vs *Eb/No*. Grafik unjuk kerja sistem OFDM tanpa *pulse shaping* pada kanal AWGN dan *Frequency Selective Fading* ditunjukkan pada Gambar 5.

Berdasarkan pada Gambar 5, pada sistem OFDM tanpa *pulse shaping* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-2} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan *Eb/No* sebesar 12 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* dibutuhkan *Eb/No* sebesar 20 dB.



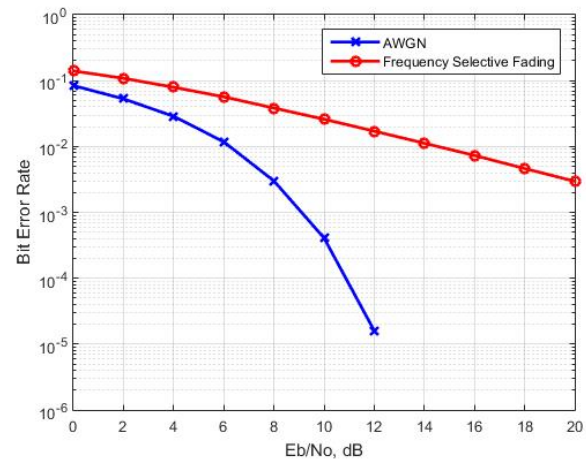
Gambar 5 : BER OFDM Tanpa *pulse shaping* pada Kanal AWGN dan *Frequency Selective Fading*

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER lebih kecil dari kanal transmisi *Frequency Selective Fading*. Hal itu karena pemodelan AWGN tidak melewatkan data yang dikirimkan pada sebuah kanal atau saluran komunikasi yang memiliki efek fading, melainkan hanya menambahkan pengaruh noise AWGN dalam proses transmisi antara pengirim dan penerima.

B. Hasil Simulasi Sistem OFDM ISP Pulse

Simulasi sistem OFDM dengan *pulse shaping Improved Sinc Power* (ISP) *pulse* dilakukan mengikuti pemodelan sistem OFDM ISP *pulse* pada Gambar 4. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem OFDM dengan menggunakan *pulse shaping ISP pulse* pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* berdasarkan parameter BER vs *Eb/No*. Grafik unjuk kerja sistem OFDM dengan *pulse shaping ISP pulse* pada kanal transmisi AWGN dan *Frequency Selective Fading* ditunjukkan pada Gambar 6.

Kadek Agus Mahabojana Dwi Prayoga: Analisis Unjuk Kerja *Improved...*



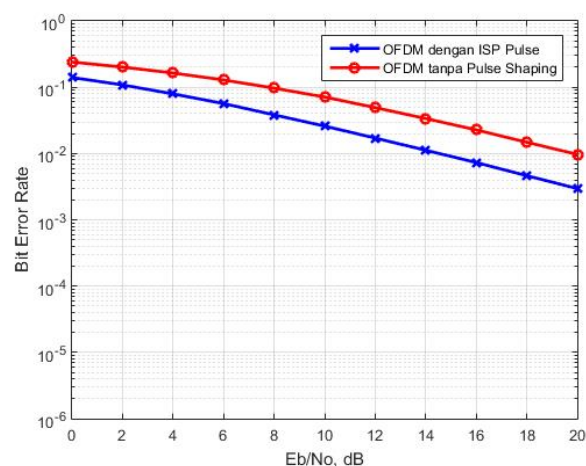
Gambar 6 : BER OFDM ISP *pulse* pada Kanal AWGN dan *Frequency Selective Fading*

Berdasarkan pada Gambar 6, pada sistem OFDM ISP *pulse* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-2} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan *Eb/No* sebesar 6 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* dibutuhkan *Eb/No* sebesar 14 dB.

Dapat dilihat pada Gambar 6 kanal transmisi *Frequency Selective Fading* memiliki nilai BER lebih besar dari kanal transmisi AWGN. Hal ini dikarenakan pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* data yang dikirimkan tidak hanya melewati kanal atau saluran komunikasi yang memiliki efek fading saja, melainkan ada penambahan noise AWGN dalam proses transmisi antara pengirim dan penerima.

C. Perbandingan Unjuk Kerja Sistem OFDM Tanpa Pulse Shaping dengan Sistem OFDM ISP Pulse

Perbandingan antara hasil simulasi sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dan OFDM dengan ISP *pulse* berdasarkan parameter BER vs *Eb/No*. Grafik dari perbandingan sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dan OFDM ISP *pulse* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 : Perbandingan BER OFDM ISP *pulse* dan OFDM tanpa *pulse shaping* pada Kanal *Frequency Selective Fading*

p-ISSN: 1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



Berdasarkan pada Gambar 7, pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-1} pada sistem OFDM ISP *pulse* dibutuhkan Eb/No sebesar 2 dB. Sedangkan pada sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dibutuhkan Eb/No sebesar 10 dB.

Hasil perbandingan simulasi didapatkan bahwa unjuk kerja sistem OFDM dengan ISP *pulse* memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari pada sistem OFDM tanpa *pulse shaping* pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading*. Hal ini disebabkan karena sistem OFDM tanpa *pulse shaping* pada penelitian ini merupakan sistem OFDM dengan penerapan *frequency offset* dimana *frequency offset* ini mengakibatkan pergeseran *side lobe* dari beberapa *subcarrier* yang akan menimbulkan ICI (*Intercarrier Interference*) terhadap *subcarrier* tersebut. ICI akan menyebabkan hilangnya orthogonalitas dari suatu *subcarrier* dimana *subcarrier* yang telah kehilangan orthogonalitas-nya menyebabkan *side lobe* dari *subcarrier* tersebut tidak lagi bernilai nol pada frekuensi tengah dari *subcarrier* tersebut. Hal ini menyebabkan performansi dari sistem OFDM menjadi semakin buruk dimana ditunjukkan dengan nilai BER yang dihasilkan semakin tinggi. Oleh karena itu diterapkanlah *pulse shaping* ISP *pulse* untuk membantu mereduksi ICI pada sistem OFDM dimana ISP *pulse* mampu menghilangkan pengaruh dari pergeseran *side lobe* yang berpotensi menimbulkan ICI sehingga daya pada setiap *subcarrier* tidak akan terinterferensi oleh *side lobe* dari *subcarrier* lainnya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Pada unjuk kerja sistem OFDM tanpa *pulse shaping*, kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER yang lebih rendah dari kanal transmisi *Frequency Selective Fading*. Untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-2} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar 12 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar 20 dB.
2. Pada unjuk kerja sistem OFDM dengan *pulse shaping Improved Sinc Power (ISP) pulse*, kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER yang lebih rendah dari kanal transmisi *Frequency Selective Fading*. Untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-2} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar 6 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar 14 dB.
3. Pada perbandingan unjuk kerja dari sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dan OFDM dengan *pulse shaping* ISP *pulse* didapat unjuk kerja dari sistem OFDM dengan *pulse shaping* ISP *pulse* lebih baik. Pada kanal transmisi *Frequency Selective Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-1} pada sistem OFDM dengan *pulse shaping*

ISP *pulse* dibutuhkan Eb/No sebesar 2 dB. Sedangkan pada sistem OFDM tanpa *pulse shaping* dibutuhkan Eb/No sebesar 10 dB.

REFERENSI

- [1] T. B. Purwanto, "Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO STBC dan V-Blast Pada Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*". Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali, Indonesia, 2015.
- [2] P. Kumar. "Modified Improved Sinc power Pulse for Inter Carrier Interference Reduction in OFDM System". IEEE International Conference on Recent Trends In Electronics Information Communication Technology Jurnal Telekomunikasi dan Komputer. 978-5090-0774-5/16. 2016.
- [3] Shaharyar, K., Cesar, A. A., Lee, K. "Suppressing the effect of ICI power using dual sinc pulses in OFDM-based systems". Department of Electrical Engineering, University of Chile, Santiago, Chile. Int. J. Electron. Commun. (AEÜ) 70 (2016) 953-960. 2016.
- [4] Utomo F.L.H. "Analisis Unjuk Kerja Coded-OFDM Melalui Kanal AWGN dan Rayleigh Fading". Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali, Indonesia, 2015.
- [5] Vaghela J., dkk. "Performance Analysis of OFDM System Using ISP Pulse Shaping Technique". International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE). Vol. 5, No.5. 2016.
- [6] N. P. E. A. Yuniari., N. M. A. E. D. Wirastusi., I. G. A. K. D. D. Hartawan. "Analisis Perbandingan Performansi Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO pada Kanal Fading". Jurnal Teknologi Elektro. Vol. 15, No. 2. 2016.
- [7] K. A. M. D. Prayoga., N. M. A. E. D. Wirastusi., I. G. A. K. D. D. Hartawan. "Analisis Unjuk Kerja Convolutional Code pada Sistem MIMO MC-DSSS Melalui Kanal Rayleigh Fading". Jurnal Teknologi Elektro. Vol. 16, No. 2. 2017.
- [8] Ashish J., Prasad P. H. K.. A "Study and Comparison of Pulse Shaping Functions for ICI Reduction in OFDM System". International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). 978-1-5090-5686-6/17. 2017.
- [9] Aryanta Dwi, dkk. "Perancangan dan Implementasi Sistem Orthogonal Division Multiplexing (OFDM) Dengan Menggunakan DSK-TM320C6713". Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan. 2015.
- [10] Subrata R.H., Gozali F. "Simulasi Teknik Modulasi OFDM QPSK Dengan Menggunakan MATLAB". Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Universitas Trisakti (JETri). Vol. 12, No.2. 2015.
- [11] Ananta S. Chavan, Sidhant S. Kulkarni. "Effect of Number Subcarrier on Implementation of OFDM Transceiver on FPGA". International Journal of Innovative Research in Electronics and Communications (IJIREC). Vol. 2, No. 2. 2015.
- [12] Titiek Suryani., Suwadi., dkk., "Implementasi and Performance Evolution of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) using WARP". International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications, 2015.
- [13] Khedkar, A., Sumathi, M., Murugan, M. "Modified Raised Cosine Power Pulse (MRCP) Based Solution to Reduce the Sensitivity to Carrier Frequency Offset in Rayleigh Faded OFDM System". Journal of Computational and Theoretical Nanoscience Vol. 14, 4222-4226, 2017.
- [14] Sharief, A. H., Satya, S. R. "An Improved ICI Self Cancellation Scheme for OFDM Systems Under Various Channels". International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 6, No. 2, April 2016, pp. 690-699. 2016.
- [15] Rizkha, A. R. Titiek, S. S. "Implementasi dan Analisis Teknik Reduksi PAPR OFDM Menggunakan Metode PTS pada WARP". JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, ISSN: 2337-3539. 2016.