

REDUKSI PAPR DAN ICI PADA SISTEM KOMUNIKASI OFDM DENGAN MENGGUNAKAN SKEMA MODULASI ADAPTIF M-ZPSK

Rahmad Tri Wasono, Ali Muayyadi, Arfianto Fahmi

Departemen Teknik Elektro STT Telkom, Bandung

¹elektri3@yahoo.com, ²alyv@stt Telkom.ac.id, ³arf@stt Telkom.ac.id

Abstrak

OFDM merupakan teknik *multicarrier* yang peka terhadap ICI. Hal ini disebabkan frekuensi offset, maupun pergerakan relatif pengirim dengan penerima yang mengakibatkan efek doppler. Hal ini mengakibatkan carrier tidak saling ortogonal sehingga terjadi degradasi kinerja. Selain itu pada OFDM juga berpeluang timbulnya daya puncak yang besar akibat penjumlahan masing-masing *subcarrier*. Ketidaklinieran amplifier akan menyebabkan sinyal terdistorsi, yang berdampak pada munculnya *out of band radiation* dan *in band distortion* yang akan menurunkan kualitas sinyal. M-ZPSK (*M-ary Zero Phase Shift Keying*) melakukan mapping untuk salah satu simbolnya dengan '0'. Hal ini akan mengurangi kemunculan peak pada sinyal OFDM karena penjumlahannya dengan '0'. Sistem adaptif akan memilih simbol mana yang menyebabkan peak dan akan menempatkannya pada simbol '0'. Dalam proses demodulasi M-ZPSK, ICI akan berkurang karena hasil korelasi *subcarrier* '0', walaupun tidak orthogonal tapi akan menghasilkan nol. Dari hasil simulasi didapat kinerja 4-ZPSK cukup efektif untuk mengatasi frekuensi offset dan frekuensi doppler. Sedangkan pada kondisi terdapat amplifier kinerja lebih buruk karena jarak minimum simbol kecil. Untuk 8-ZPSK dan 16-ZPSK kinerja masih bagus untuk FO dan FD yang kecil.

Kata kunci: *intercarrier interference*, PAPR, M-ZPSK, simbol nol.

Abstract

OFDM is a *multicarrier* technique that is sensitive to ICI, caused by frequency offset and relative transmitter move resulting Doppler effect and causing each carrier not orthogonal. It causes performance degradation. Moreover OFDM has high peak power resulted from summation of all *subcarriers*. The amplifier nonlinearity also causes signal distortion, appearing out of band radiation and in band distortion that degrade signal quality. M-ZPSK (*M-ary Zero Phase Shift Keying*) represents mapping with one of '0' symbol. This way decreases the probability of OFDM signal peak due to summation with '0'. The adaptive system chooses the symbols which cause peak and places them with '0' symbol. The demodulation process reduces ICI because the correlation with '0' *subcarriers* is zero although not orthogonal. The simulation results shows that 4-ZPSK is effective to overcome frequency offset and Doppler spread, except with amplifier where the performance decreases since the symbol minimum distance is small. The performances of 8-ZPSK and 16-ZPSK are still good for small FO and FD.

Key words: *intercarrier interference*, PAPR, M-ZPSK, zero symbol.

1. Pendahuluan

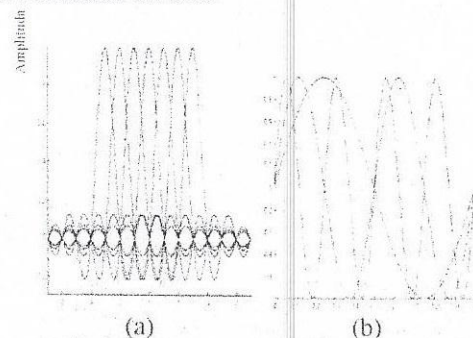
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah sistem komunikasi *multicarrier* dimana durasi simbol yang panjang setelah *parallel-to-serial* dapat mengurangi distorsi sinyal berupa *frequency selective fading* dan *narrowband interference*. Penambahan *guard time* menjadikan sistem OFDM semakin kebal terhadap distorsi *multipath* berupa *Inter-Symbol Interference* (ISI) dan *Inter-Carrier Interference* (ICI).

Sinyal OFDM bisa dinyatakan dalam persamaan matematika sebagai berikut [2]:

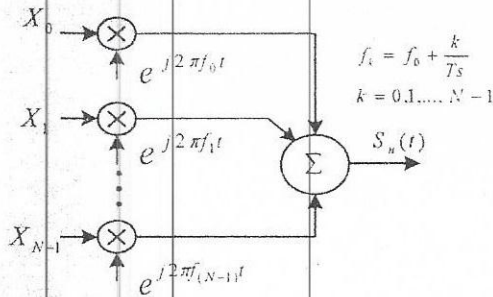
$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp\left(i \frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (1)$$

Simbol X_k diperoleh dari hasil konversi data serial dengan kecepatan sebesar N/T_s (atau periode simbol = T_s/N) menjadi data paralel dengan kecepatan pada masing-masing lengan paralel sebesar $1/T_s$ (atau periode simbol setiap lengan =

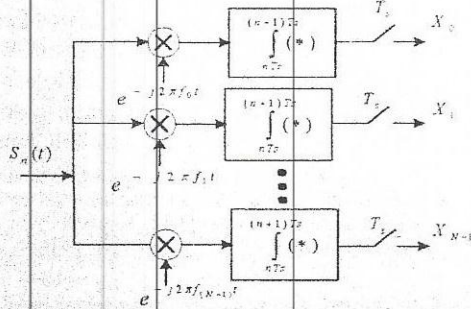
T_s) seperti terlihat pada Gambar 2. Persamaan 1 merupakan ekspresi dari *Inverse Discrete Fourier transform* (IDFT/IFFT) yang diterapkan pada pemancar. Dengan menerapkan FFT pada penerima, akan didapatkan kembali simbol X_k yang dikirim oleh modulator OFDM.



Gambar 1. Sinyal OFDM (a) Domain Frekuensi (b) Domain Waktu



Gambar 2. Diagram Blok Modulasi OFDM



Gambar 3. Diagram Blok Demodulasi OFDM

Sifat ortogonalitas antar subcarrier OFDM (karakteristik IFFT) dimanfaatkan untuk melakukan proses demodulasi pada setiap subcarrier sebagai berikut [11]:

$$X_n = \frac{1}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} S(t) g_k^*(t) dt \quad (2)$$

1.1 Peak To-Average Power Ratio (PAPR) [x]

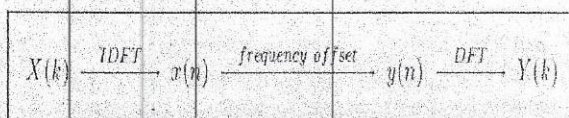
Peak To Average Power Ratio (PAPR) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya maksimum sinyal terhadap daya rata-ratanya atau dirumuskan sebagai [7]:

$$PAPR(S(t)) = \frac{\max_{0 \leq t \leq T_s} |S(t)|^2}{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} |S(t)|^2 dt} \quad (3)$$

$$P(PAPR > PAPR_0) = (1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N) \quad (4)$$

1.2 Inter-Carrier Interference (ICI)

Kelemahan utama dari OFDM adalah rentan terhadap ICI (intercarrier interference), yang diakibatkan pergeseran frekuensi kerja sistem OFDM, atau biasa disebut frekuensi offset, akibatnya ortogonalitas antar subcarrier berkurang sehingga menimbulkan interferensi antar subcarrier dan mengganggu proses deteksi.



Gambar 4. Model Frekuensi Offset

Sinyal terima yang diperoleh [11,12] :

$$y(n) = x(n) \times e^{\frac{j2\pi n \epsilon}{N}} \quad (5)$$

di mana ϵ adalah frekuensi offset ternormalisasi yang ditentukan oleh $\Delta f N T_s$. Δf adalah selisih antara frekuensi carrier pemancar dan penerima dan T_s adalah perioda simbol subcarrier. Pengaruh dari frekuensi offset terhadap deretan simbol yang diterima dapat dilihat dari simbol yang diterima pada subcarrier yang ke-k, $Y(k)$ [12]

$$Y(k) = X(k)S(k,k) + \sum_{m=0, m \neq k}^{N-1} X(m)S(m,k) \quad (6)$$

di mana N adalah jumlah total dari sub-carrier, $X(k)$ adalah simbol yang dikirimkan untuk sub-carrier yang ke-k, dan $S(m,k)$ adalah koefisien kompleks untuk komponen ICI dari sinyal yang diterima. Komponen ICI adalah sinyal penginterferensi pada sinyal yang dikirimkan pada sub-carrier ke-k dan yang lainnya. Koefisien kompleks tersebut ditentukan oleh [12]

$$Y(k) = X(k)S(k,k) + \sum_{m=0, m \neq k}^{N-1} X(m)S(m,k) \quad (7)$$

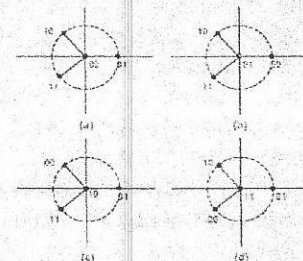
2.2 Perancangan Sistem M-ZPSK

2.1 Skema Modulasi M-ZPSK pada OFDM

Skema modulasi M-ZPSK merupakan teknik modulasi M-PSK dengan menyatakan salah satu simbol dengan amplitude nol, sedangkan simbol yang lain akan mirip dengan modulasi PSK. Konstelasi sinyal dari M-ZPSK dinyatakan sebagai berikut [7]

$$C_k = [0, \alpha, \alpha \xi, \dots, \alpha \xi^{M-2}] \quad (8)$$

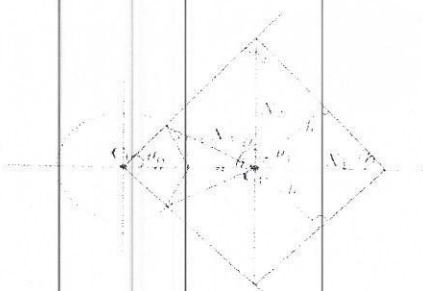
dengan, $\alpha = (M/(M-1))^{0.5}$ dan $\xi = \exp(j 2\pi/(M-1))$, misal untuk $M=4$:



Gambar 5. Konstelasi Sinyal untuk M=4.

Terdapat empat jenis skema mapping untuk M=4 dengan masing-masing kombinasi sejumlah $\log_2 M$ -bit menempati posisi simbol amplitude nol. Sistem skema adaptif akan memilih bentuk skema

modulasi dengan PAPR minimum dari keempat jenis mapping tersebut.



Gambar 6. Daerah Keputusan pada M-ZPSK untuk C_0 dan C_1 pada $M=4$

Sedangkan probabilitas error untuk simbol C_0 [8]

$$Pr\{error/C_0\} = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{M-1} \int_0^{\psi_k} \exp\left\{-\frac{N_0^2 \sin^2(\psi_k)}{2\sigma^2 \sin^2(\theta + \psi_k)}\right\} d\theta \quad (9)$$

$N_0^2/(2\sigma^2)$ adalah energi simbol dibagi rapat daya noise. Dengan asumsi masing-masing simbol mempunyai peluang muncul yang sama maka probabilitas error dapat didefinisikan [7]

$$P_s = \frac{1}{M} [Pr\{error/C_0\} + (M-1)Pr\{error/C_1\}] \quad (11)$$

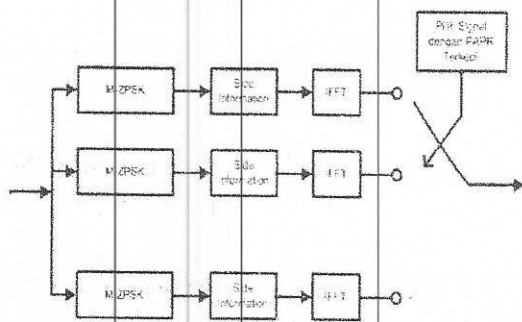
Kemudian rata-rata probabilitas bit error sebesar

$$P_b = \frac{1}{\log_2 M} P_s \quad (12)$$

Untuk M-ZPSK maka puncak sinyal akan berkurang sebesar jumlah simbol 0 pada M-ZPSK sehingga [7]

$$PAPR_{max} = N - L \quad (13)$$

di mana L adalah jumlah simbol dengan amplitude 0 dan N = jumlah carrier.



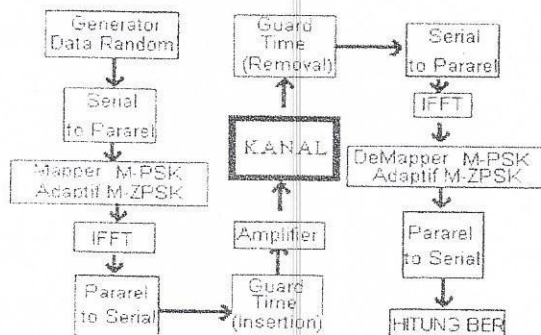
Gambar 7. Skema Adaptif M-ZPSK

Besarnya CCDF merupakan pangkat N dari CCDF pada OFDM standat [7].

$$P(PAPR > PAPR_0) = (1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N)^M \quad (14)$$

Sedangkan komponen penginterferensi dapat dinyatakan sebagai [12].

$$Y(k) = X(k)S(k,k) + \sum_{m=0, m \neq k}^{N-1} X(m)S(m,k) \quad (15)$$



Gambar 8. Transceiver OFDM M-ZPSK/MPSK

Dengan keberadaan simbol nol, interferensi akan semakin berkurang karena perkalian dengan $S(m,k)$ akan nol. Rotasi akibat ICI pada M-ZPSK tidak banyak berpengaruh, karena jarak fasa pada mapping M-ZPSK lebih besar.

2.2 Amplifier SSPA

Model amplifier yang digunakan adalah model SSPA yang sering digunakan pada komunikasi bergerak [7]

$$F(x(t)) = \frac{x(t)}{\left(1 + \left(\frac{|x(t)|}{A}\right)^{2P}\right)^{\frac{1}{2P}}} \quad (16)$$

Dengan, $BO = 10 \log_{10}(A^2 / E\{|x^2\})$, akan didapat nilai A untuk beberapa nilai BO , simulasi akan dilakukan untuk $BO = 3, 6$ dan 9 dB.

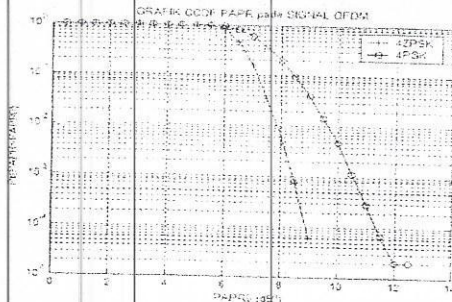
3.2 Analisis Hasil Simulasi

3.1 Reduksi PAPR

3.1.1 Grafik CCDF

Hasil simulasi 4-ZPSK dan 4-PSK dalam bentuk grafik CCDF terlihat pada Gambar 9. Dengan pengiriman 10.000 simbol pada grafik tersebut terlihat bahwa peluang munculnya PAPR lebih besar 9 dB pada 4-ZPSK sebesar 10^{-4} sedangkan pada 4-PSK sebesar 4.3×10^{-2} . Jika sistem menggunakan amplifier yang sama pada 4-ZPSK setiap 10.000 simbol OFDM akan terpotong satu simbol saja, sedangkan pada 4-PSK akan terpotong 430 simbol.

Untuk mendapatkan daya keluaran dan distorsi amplifier yang sama, daya yang diperlukan amplifier pada 4-ZPSK adalah 10.4 dB lebih kecil jika dibandingkan dengan 4-PSK seperti terlihat pada Tabel 1.



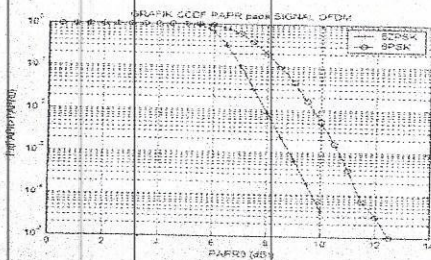
Gambar 9. Grafik CCDF 4-ZPSK dan 4-PSK

Tabel 1. Nilai PAPR, 10⁴ percobaan untuk M=4

Jenis modulasi	PAPR (dB)	PAPR
4-PSK	11.2	13.1826
4-ZPSK	8.9	7.7625

$$G_s = 2(PAPR1 - PAPR2) = 10.4 \text{ dB}$$

Gambar 10 adalah hasil simulasi 8-ZPSK dan 8-PSK dalam bentuk grafik CCDF. Untuk PAPR yang lebih besar dari 9 dB pada 8-ZPSK peluang kemunculannya sebesar 6.4×10^{-4} sedangkan pada 8-PSK sebesar 4.3×10^{-2} .



Gambar 10. Grafik CCDF 8-ZPSK dan 8-PSK

Jika diinginkan setiap 10.000 simbol OFDM baik 8-ZPSK maupun 8-PSK hanya 1 simbol saja yang terpotong pada amplifier kelas A, maka dibutuhkan karakteristik amplifier dengan dynamic range yang besar untuk 8-PSK

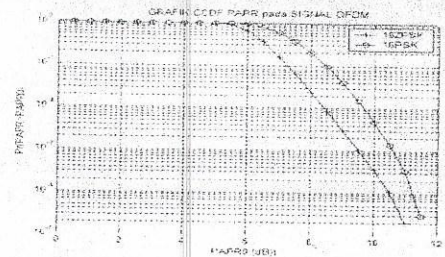
Tabel 2. Nilai PAPR, 10⁴ percobaan untuk M=8

Jenis modulasi	PAPR (dB)	PAPR
8-PSK	11.2	13.1826
8-ZPSK	9.5	8.9125

$G_s = 9.5 \text{ dB}$ (lihat Tabel 2). Sehingga untuk mendapatkan daya keluaran dan distorsi amplifier yang sama, daya yang diperlukan amplifier pada 8-ZPSK adalah 9.5 dB lebih kecil jika dibandingkan dengan 8-PSK.

Gambar 11 memperlihatkan hasil simulasi untuk 16-ZPSK dan 16-PSK. Untuk PAPR yang lebih besar dari 9 dB pada 16-ZPSK peluang kemunculannya sebesar 3.06×10^{-3} sedangkan pada 8-PSK sebesar 4.3×10^{-2} .

Tabel 3 memperlihatkan nilai PAPR untuk 16-ZPSK dan 16-PSK sehingga didapatkan gain sebesar $G_s = 6.9 \text{ dB}$.



Gambar 11. Grafik CCDF 16-ZPSK dan 16-PSK

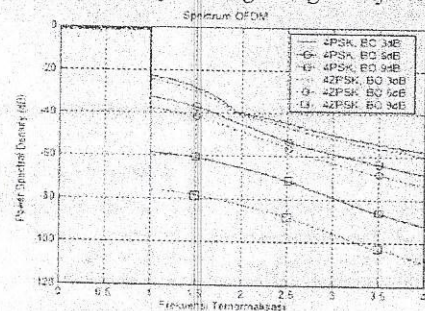
Tabel 3. Nilai PAPR, 10⁴ percobaan untuk M=16

Jenis modulasi	PAPR (dB)	PAPR
16-PSK	11.2	13.1826
16-ZPSK	10.3	10.7152

3.1.2 Pengaruh PAPR terhadap Spektrum Sinyal OFDM

Gambar 12 dan Gambar 13 merupakan spektrum sinyal OFDM setelah melewati amplifier, dengan variasi nilai BO. Spektrum tersebut ternormalisasi terhadap bandwidth sinyal. Over sampling dilakukan untuk dapat melihat spektrum di luar spektrum sinyal. Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin kecil nilai BO amplifier maka *out of band radiation* yang muncul akan semakin besar. Pengaruh nilai PAPR yang tinggi akan memperbesar *out of band radiation* yang muncul. Gambar 13 menunjukkan bahwa peluang kemunculan PAPR yang besar pada 4-ZPSK lebih kecil bila dibandingkan dengan 4-PSK. Sehingga *out of band radiation* yang muncul pada 4-ZPSK lebih kecil.

Besarnya perbaikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan *out of band radiation* dilakukan dengan menghitung daya pada spektrum diluar spectrum sinyal dibagi dengan daya total.

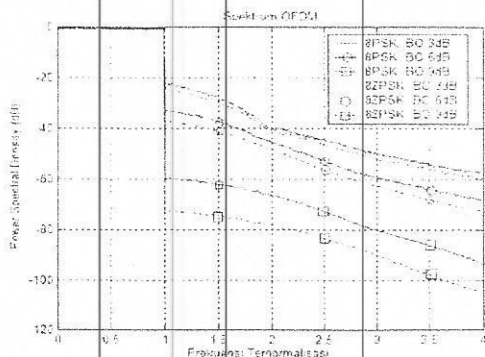


Gambar 12. Spektrum Sinyal OFDM untuk M=4 dengan Variasi Nilai BO

Tabel 4. OOB untuk 4-ZPSK dan 4-PSK

Jenis Modulasi	BO(dB)	OOBR (dB)	Gain (dB)
4-PSK	3	-26.1979	-
4-ZPSK	3	-27.2125	1.0146
4-PSK	6	-36.2324	-
4-ZPSK	6	-39.9695	3.7371
4-PSK	9	-60.4317	-
4-ZPSK	9	-76.2993	15.8676

Gambar 13 memperlihatkan pengaruh nilai BO amplifier yang menyebabkan perubahan *out of band radiation*. Selain itu dapat terlihat bahwa besarnya *out of band radiation* pada 8-ZPSK lebih kecil dibandingkan 8-PSK pada setiap nilai BO yang sama.

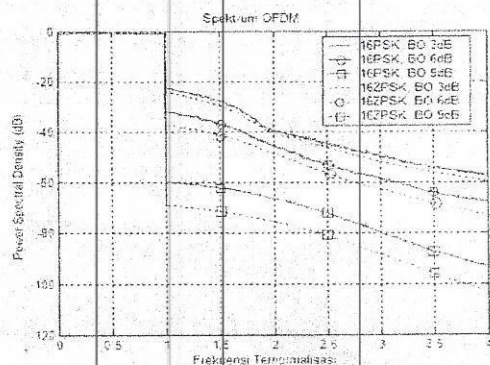


Gambar 13. Spektrum Sinyal OFDM untuk M=8 dengan Variasi Nilai BO

Tabel 5 menunjukkan besarnya *out of band radiation* (OOBR) untuk kedua sistem. Seperti halnya untuk M=4 dan 8, Gambar 14 untuk M=16 menunjukkan bahwa semakin kecil nilai BO amplifier maka *out of band radiation* yang muncul akan semakin besar. Terlihat juga bahwa *out of band radiation* pada 16-ZPSK lebih kecil dibandingkan dengan 16-PSK, hal ini menunjukkan bahwa nilai PAPR pada 16-ZPSK lebih kecil dibandingkan 16-PSK.

Tabel 5. OOBR untuk 8-ZPSK dan 8-PSK

Jenis Modulasi	BO (dB)	OOBR (dB)	Gain (dB)
8-PSK	3	-26.1979	-
8-ZPSK	3	-27.1588	0.9609
8-PSK	6	-36.5380	-
8-ZPSK	6	-39.7388	3.2058
8-PSK	9	-61.5302	-
8-ZPSK	9	-73.4036	11.8734



Gambar 14. Spektrum Sinyal OFDM untuk M=16 dengan Variasi Nilai BO

Dari Tabel 6 dapat ditentukan perbaikan yang dihasilkan oleh 16-ZPSK. Kalau dibandingkan antara 4-ZPSK, 8-ZPSK, 16-ZPSK terjadi kenaikan

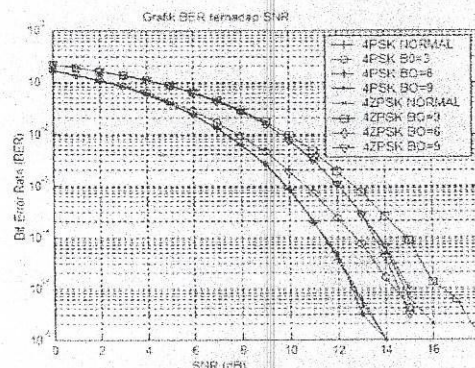
nilai *out of band radiation*, sedangkan pada 4-PSK, 8-PSK, 16-PSK *out of band radiation* untuk masing-masing kondisi relative tetap. Hal ini terjadi karena pada M-ZPSK dengan naiknya orde modulasi maka reduksi PAPR semakin kecil, sedangkan pada MPSK nilai PAPR akan relatif sama untuk berbagai nilai M. Sehingga M-ZPSK akan mengurangi besarnya guard band yang diperlukan dan dapat mengurangi orde filter di sisi pengirim.

Tabel 6. OOBR untuk 16-ZPSK dan 16-PSK

Jenis Modulasi	BO (dB)	OOBR (dB)	Gain (dB)
16-PSK	3	-26.1979	-
16-ZPSK	3	-26.9855	0.7876
16-PSK	6	-35.8902	-
16-ZPSK	6	-38.2483	2.3581
16-PSK	9	-61.6476	-
16-ZPSK	9	-70.6280	8.9804

3.1.3 Kinerja Skema Adaptif M-ZPSK yang Dipengaruhi Amplifier

Pada subbab ini diperlihatkan hasil simulasi sistem yang dipengaruhi oleh amplifier dalam kondisi tidak linear. Kondisi tersebut akan menyebabkan in band distortion yang akan menurunkan kualitas sinyal yang diterima oleh receiver. Kinerja 4-ZPSK dan 4-PSK pada kanal Rayleigh fading yang bersifat frekuensi selective dengan variasi titik kerja amplifier (BO) terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kinerja 4-ZPSK dan 4-PSK dengan Variasi Nilai BO

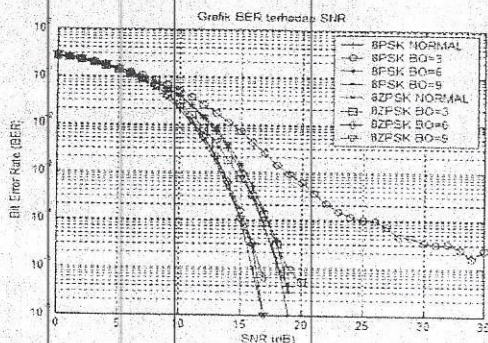
Dari Gambar 15 terlihat bahwa pada kondisi normal (amplifier linear), kinerja 4-ZPSK akan lebih buruk dibandingkan dengan 4-PSK. Hal ini disebabkan modulasi M-ZPSK mempunyai jarak minimum yang lebih kecil dibandingkan MPSK untuk M yang rendah. Untuk 4-PSK jarak minimum adalah 1.4142, sedangkan 4-ZPSK adalah 1.1547. Sehingga untuk kondisi amplifier dengan BO yang tinggi degradasi SNR dari hasil simulasi sebesar 2 dB untuk semua nilai BER. Tetapi jika diamati dengan seksama, apabila sistem dilewatkan pada amplifier dengan BO 3 dB, degradasi SNR pada 4-ZPSK lebih kecil dibandingkan 4-PSK dari kondisi amplifier yang ideal untuk mapping yang sama.

Pada modulasi M-ZPSK jarak minimum simbol lebih besar jika dibandingkan dengan 8-PSK. Untuk 8-ZPSK jarak minimum simbol sebesar 0.9277, sedangkan pada 8-PSK sebesar 0.7654, sehingga terlihat bahwa kinerja 8-ZPSK lebih bagus dibandingkan dengan 8-PSK, dimana terjadi gain pada SNR sebesar 3dB (lihat Gambar 16). Pada kondisi BO= 6 dan 9 degradasi BER tidak begitu besar. Tetapi pada kondisi BO=3 dB, untuk 8-PSK untuk mencapai BER 10^{-5} diperlukan SNR lebih dari 35 dB, sedangkan pada 8-ZPSK dicapai pada SNR 19 dB.

3.2 Reduksi ICI pada Adaptif M-ZPSK

3.2.1 Kinerja Adaptif M-ZPSK dalam Kondisi Kanal Terdapat Efek Doppler

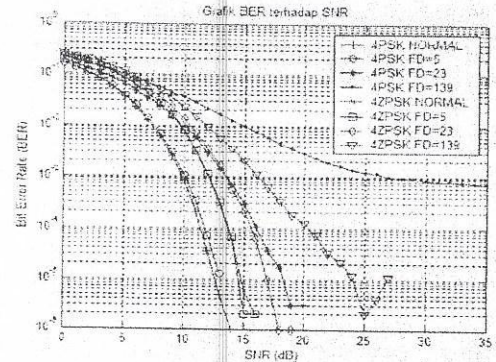
Gambar 17 menyajikan hasil simulasi kinerja 4-ZPSK dan 4-PSK dengan variasi frekuensi doppler (FD). Pada FD 5 Hz terlihat bahwa pada 4-PSK terjadi degradasi SNR 0.5 dB sedangkan pada 4-ZPSK hampir tidak terjadi penurunan kinerja. Untuk FD 23 Hz kinerja 4-ZPSK mulai lebih baik dari 4-PSK, hal ini terlihat pada BER 10^{-5} pada 4-ZPSK dicapai pada SNR 17 dB sedangkan pada 4-PSK terjadi pada 19 dB. Tetapi kalau diamati dengan seksama pada saat BER lebih besar 10^{-3} kinerja 4-PSK lebih bagus dari 4-ZPSK karena degradasi SNR akibat jarak minimum simbol. Pada FD 139 Hz kinerja kedua sistem terjadi penurunan yang cukup besar, dimana untuk mencapai BER 10^{-5} 4-ZPSK terjadi pada SNR 24 dB, sedangkan 4-PSK kinerja mulai konstan pada BER 10^{-3} . Kinerja 4-ZPSK cukup bagus dalam mengatasi efek doppler walaupun terjadi degradasi SNR akibat jarak minimum yang kecil, tetapi pada saat terjadi efek doppler kinerjanya jauh lebih baik dari 4-PSK.



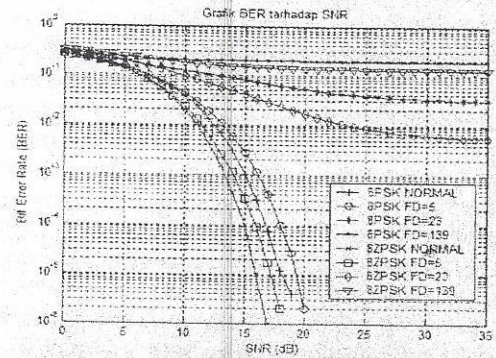
Gambar 16. Kinerja 8-ZPSK dan 8-PSK dengan Variasi Nilai BO

Gambar 18 merupakan hasil simulasi 8-ZPSK dan 8-PSK dengan variasi frekuensi doppler pada kanal rayleigh yang bersifat frekuensi selektif. Pada FD 5 Hz. Untuk 8-ZPSK BER 10^{-5} terjadi pada SNR 24 dB sedangkan 8-PSK dicapai pada SNR 29 dB. Pada saat frekuensi doppler 23 Hz terjadi penurunan kinerja yang sangat drastis. Hal ini disebabkan kemampuan untuk mengatasi ICI pada M-ZPSK sangat dipengaruhi jumlah simbol O , ketika $M=8$

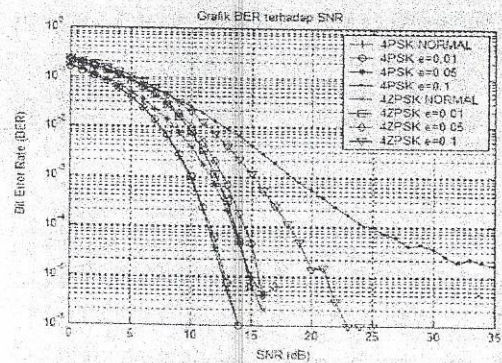
maka dalam satu simbol OFDM, simbol tersebut hasil penjumlahan beberapa carrier dengan jumlah simbol mapping O sejumlah 16. Sehingga hanya 17 carrier saja yang tidak akan menginterferensi carrier yang lain.



Gambar 17. Kinerja 4-ZPSK dan 4-PSK dengan Variasi Nilai Frekuensi Doppler



Gambar 18. Kinerja 8-ZPSK dan 8-PSK dengan Variasi Nilai Frekuensi Doppler



Gambar 19. Kinerja 4-ZPSK dan 4-PSK dengan Variasi Frekuensi Offset

3.2.2 Kinerja Adaptif M-ZPSK pada Kanal Frekuensi Offset

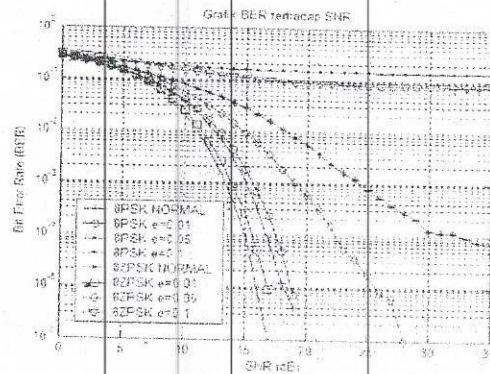
Dalam sebuah pemancar dan penerima terdapat osilator lokal untuk melakukan modulasi, up converter, dan juga down converter. Ketika frekuensi osilator lokal tersebut terdapat perbedaan maka pada OFDM ketika dilakukan demodulasi/IFFT hasil kroskorelasi *carriernya* tidak

nol dan akan menyebabkan ICI. Gambar 19 memperlihatkan hasil simulasi kinerja OFDM dengan variasi frekuensi offset, dimana nilai frekuensi offset ternormalisasi terhadap spasi antar carrier yang berdekatan.

Pada saat $\epsilon=0.01$ kinerja kedua sistem tidak terlalu mengalami penurunan. Pada saat $\epsilon=0.05$ kinerja terjadi penurunan kinerja pada kedua sistem dimana 4-PSK terjadi degradasi SNR sebesar 2.5 dB pada BER 10^{-5} sedangkan 4-ZPSK terjadi degradasi SNR sebesar 1 dB, walaupun begitu kinerja 4-ZPSK masih lebih buruk. Ketika terdapat frekuensi offset sebesar $\epsilon=0.1$ pada saat SNR kurang dari 6 dB kinerja 4-ZPSK lebih buruk dibandingkan 4-PSK selanjutnya dengan naiknya SNR kinerja 4-ZPSK akan mulai membaik. Hal ini disebabkan jarak minimum simbol 4-ZPSK lebih kecil, ketika SNR dinaikkan bit error lebih disebabkan oleh ICI. Disini terlihat bahwa 4-ZPSK mampu mengurangi ICI, sedangkan 4-PSK akan terjadi penurunan kinerja yang lebih besar. Perbaikan yang diperoleh pada BER 10^{-5} dicapai pada SNR 20 dB untuk 4-ZPSK dan lebih besar 35 dB untuk 4-PSK.

Berbeda dengan 4ZSPK pada 8-ZPSK pada saat SNR rendah kinerja 8-ZPSK lebih bagus dibandingkan 8-PSK yang disebabkan oleh jarak minimum 8-ZPSK lebih besar dibandingkan 8-PSK. Pada Gambar 20 diperlihatkan hasil simulasi kedua sistem.

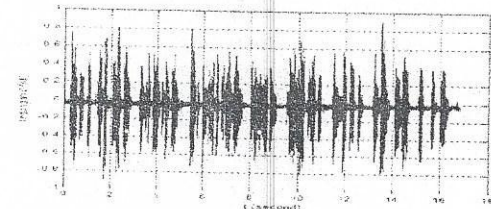
Terlihat bahwa pada saat terjadi frekuensi error sebesar 0.01 kedua sistem sudah mulai memburuk di mana pada 8-PSK mencapai BER 10^{-5} pada SNR 19.5 dB sedangkan 8-ZPSK 16.5 dB, disini terjadi gain 3 dB. Penurunan kinerja cukup besar pada saat $\epsilon=0.05$ dimana untuk mencapai BER 10^{-5} pada 8-ZPSK perlu SNR sebesar 25.5 dB sedangkan 8-PSK pada BER 10^{-4} mulai konstan. Disini terlihat bahwa 8-PSK mulai tertinggal jauh kinerjanya. Karena reduksi yang dilakukan terbatas pada pengurangan jumlah subcarrier penginterferensi sejumlah simbol 0 8-ZPSK, pada setiap simbol OFDM. Selain itu jarak antar simbol baik itu 8-ZPSK atau 8-PSK cukup dekat sehingga dengan ICI yang kecil sudah bisa menyebabkan bit error.



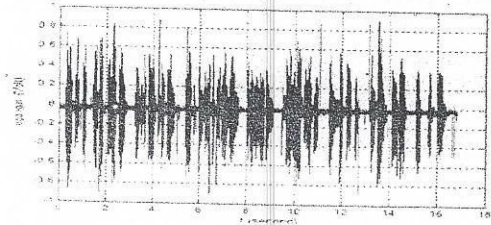
Gambar 20. Kinerja 8-ZPSK dan 8-PSK dengan Variasi Frekuensi Offset

3.3 Pengaruh Kinerja Sistem terhadap Suara

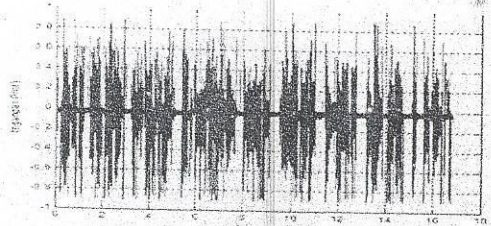
Gambar 21 menunjukkan bahwa bentuk sinyal pada 4-ZPSK lebih mirip dengan sinyal original jika dibandingkan 4-PSK hal ini sesuai dengan nilai mse yaitu sebesar -29.1908 dB untuk 4-PSK dan -40.4819 untuk 4-ZPSK. Gambar 22 memperlihatkan bahwa sinyal error yaitu selisih antara sinyal terima dan sinyal original lebih besar pada 4-PSK, jika dibandingkan dengan 4-ZPSK.



(a)

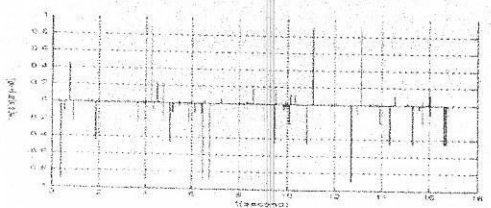


(b)

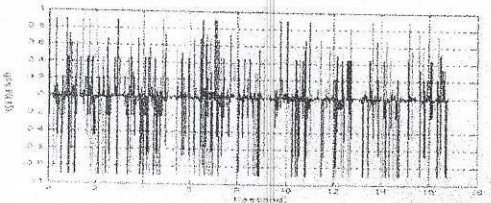


(c)

Gambar 21. Sinyal Suara Original (a), Sinyal Terima 4-ZPSK (b), 4-PSK (c), FD=139Hz



(a)



(b)

Gambar 22. Sinyal Error (a) 4-ZPSK; (b) 4-PSK

4. Kesimpulan

Perbaikan yang diperoleh pada skema adaptif M-ZPSK sangat dipengaruhi oleh orde modulasi yaitu M. Untuk M yang rendah kinerja M-ZPSK akan terdegradasi oleh jarak minimum simbol sedangkan, untuk M yang tinggi pada kondisi normal M-ZPSK mempunyai kinerja yang lebih baik. 4-ZPSK cukup baik dalam mengatasi ICI akibat doppler shift maupun frekuensi offset, sedangkan 8-ZPSK kurang bisa mereduksi walaupun mempunyai jarak minimum yang lebih besar dibandingkan 8-PSK. Untuk BER 10^{-5} pada FO=0.1, M=4 terdapat gain sebesar 15 dB, untuk 8-ZPSK FO=0.05 pada SNR 26 dB, sedangkan 8-PSK BER minimum 10^{-4} . Kinerja sistem yang dipengaruhi oleh kondisi amplifier, frekuensi offset, dan frekuensi doppler yang akan menurunkan kinerja sistem secara umum. M-ZPSK dapat mereduksi PAPR dan ICI secara bersamaan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Baxley, Robert J., 2005, *Analyzing Selected Mapping for Peak-to-Average Power Reduction in OFDM*.
- [2] Chang, Ren-Yu, *A Study on Peak-to-Average Power Ratio Reduction in OFDM System Using PTS and Companding Methods*
- [3] Gulliver, T. Aaron, 2000, *ICI and PAPR Control for OFDM Systems*, Department of Electrical and Computer Engineering University of Victoria.
- [4] Guo, Yuanbin, R Joseph, Cavallaro, 2002, *Enhanced Power Efficiency of Mobile OFDM Radio using Predistortion and Post-Compensation*, IEEE.
- [5] J.W. Craig, 1991, *A New, Simple and Exact Result for Calculating the Probability of Error for Two-Dimension Signal Constellations*, IEEE MILCOM
- [6] Kohandani, Farzaneh, 2002, *PAPR Reduction in OFDM/CDMA Systems*.
- [7] K.Sathananthan and C. Tellambura, *Novel Adaptive Modulation Scheme to Reduce Both PAPR and ICI of an OFDM Signal*.
- [8] Liang, Cheng-Po, et al., *Nonlinear Amplifier Effects in Communications Systems*, IEEE Transactions.
- [9] Nailhua, Yuan, 2003, *An Equalization Technique for High Rate OFDM Systems*.
- [10] Stott, J.H., M.A., 1995, *The Effects of Frequency Errors in OFDM*, Research and Development Report, BBC
- [11] Suhendra, Deddy, 2004, *Reduksi PAPR dan Koreksi kesalahan Bit dengan Menggunakan Pengkodean Complementary*.
- [12] Yucek, Tefvik, *Self-Interference Handling in OFDM Based Wireless Communication Systems*.