

Reduksi PAPR Pada Sinyal OFDM Dengan Selective Mapping Menggunakan Turbo Coding

Agustana Prasetia M.¹, Rina Puji Astuti², Nachwan Mufti³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro ITTelkom, Bandung

¹agustana_pma@yahoo.co.id, ²rpa@stttelkom.ac.id, ³nma@stttelkom.ac.id

Abstrak

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing sub-carrier tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio symbol yang rendah. Pada umumnya OFDM memiliki kerugian yaitu sinyal PAPR (Peak Average Power Ratio) yang cukup besar. Sehingga dibutuhkan teknik untuk mereduksi sinyal PAPR tersebut, yaitu dengan cara turbo coding dan selective mapping

Teknik selective mapping (SLM) merupakan teknik yang cukup baik untuk menurunkan PAPR. Pada tugas akhir ini saya menggunakan selective mapping (SLM) dengan channel coding, channel coding yang digunakan yaitu turbo coding.

Hasil simulasi menggambarkan penambahan jumlah faktor fasa pengali (U) dapat meningkatkan reduksi PAPR. Dengan memodifikasi teknik SLM konvensional, sehingga didapatkan kinerja yang lebih baik dengan mengacak posisi fasa dan menambahkannya pada deretan data informasi. Maksimum PAPR untuk SLM modifikasi mendekati antara 5 – 7 dB, dengan OBO = 6 dan pada subcarrier = 128, 256
Kata kunci : OFDM, PAPR, SLM, *Channel Coding*.

Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a modulation technique of multicarrier that capable to give solution to the communications system of wireless this time. OFDM have big efficiency of bandwidth, can overcome the problem of fading selective frequency and hold up to spread delay. Main problem in OFDM systems is large PAPR (Peak to Average Power Ratio) where the peak power of OFDM signal will much bigger than the average.

Selective Mapping (SLM) technique are the best technique to reduce PAPR. On the Final test, using selective mapping (SLM) with channel coding. Channel coding are Turbo Coding.

Result of simulation show that addition the amount of phase factor (U) in SLM will improve reduction of PAPR. With SLM modification will give better performance to random the phase position and adding it to information sequences. Maximum PAPR to SLM modification approach is 5 – 7 dB, with OBO = 6 and subcarrier = 128, 256

Keywords : OFDM, PAPR, SLM, *Channel Coding*.

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi generasi keempat (4G) dibutuhkan sistem transmisi untuk *bit rate* yang tinggi. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan salah satu teknik yang mampu menangani transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi pada lingkungan yang mengalami fenomena *multipath* yang menyebabkan *intersymbol interference* (ISI). Dengan menambahkan *guard interval*, CP, permasalahan ISI dapat ditangani. Selain itu, system OFDM juga memiliki efisiensi bandwidth yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* lainnya.

Akan tetapi, teknik ini juga memiliki kelemahan yaitu menghasilkan nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang tinggi. PAPR merupakan perbandingan nilai amplitude maksimum sinyal dengan nilai amplitude rata-ratanya. Semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan maka nilai PAPR semakin tinggi. Dengan adanya nilai PAPR yang tinggi maka dibutuhkan amplifier dengan *dynamic range* yang lebar untuk menghindari *distorsi non*

linear. PAPR yang tinggi juga akan menurunkan efisiensi amplifier dan meningkatkan kompleksitas ADC dan DAC. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu teknik untuk mereduksi nilai PAPR yang tinggi tersebut.

Saat ini telah terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk menurunkan nilai PAPR, diantaranya melalui teknik probabilitas, salah satunya adalah SLM. Pada teknik SLM konvensional, diperlukan adanya informasi tambahan yang harus dikirimkan bersama-sama dengan data, agar penerima tahu proses apa saja yang telah dilakukan di pemancar. Dengan memodifikasi teknik SLM, maka tidak perlu lagi dibutuhkan informasi tambahan yang harus dikirimkan ke penerima. Informasi tambahan tersebut sebenarnya digabungkan dengan cek simbol dari sinyal COFDM, sehingga pada penerima perlu adanya proses estimasi informasi tambahan tersebut.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Matlab 7.01 dan membandingkan performansi sistem OFDM asli, dengan sistem OFDM dengan teknik

reduksi SLM konvensional, serta teknik SLM termodifikasi serta membandingkan kemampuannya dalam mereduksi PAPR.

2. Dasar Teori

2.1 PAPR pada OFDM^[9,22]

PAPR merupakan perbandingan daya puncak dengan daya rata-rata sinyal. PAPR sinyal hasil dari mapping PSK *base band* sebesar nol dB, karena semua simbol mempunyai daya yang sama. Tetapi setelah dilakukan IFFT, daya sinyal akan bervariasi, sehingga PAPR akan semakin besar. Variasi daya (*dynamic range*) tersebut disebabkan oleh modulasi masing-masing *subcarrier*, dengan frekuensi yang berbeda, sehingga apabila beberapa *subcarrier* mempunyai fasa yang koheren akan muncul amplituda dengan level yang jauh lebih besar dari daya rata-rata sinyal.

Nilai PAPR yang besar akan menyebabkan HPA bekerja pada efisiensi rendah. Karena untuk mendapatkan output yang tidak terdistorsi, akan membutuhkan biasing yang besar.

PAPR sinyal yang ditransmisikan didefinisikan sebagai berikut:

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

Pada sinyal OFDM besarnya daya maksimum yang terjadi dapat ditunjukkan sebagai berikut: Jika sinyal OFDM dinyatakan sebagai $S_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j \frac{2\pi kn}{N}}$. Jika pada kondisi

dimana perkalian X_k dan $e^{j \frac{2\pi kn}{N}}$ menghasilkan fasa yang koheren, maka nilai S_n tersebut akan sebesar $S_{\max} = \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| = N$. Sehingga daya

maksimum sinyal OFDM tersebut sebesar N^2 . Sedangkan daya rata-rata untuk kondisi yang

sama sebesar $PAPR_{ave} = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} |X_k|^2}{N} = N$.

Sehingga $PAPR_{\max} = \frac{N^2}{N} = N$. Nilai PAPR

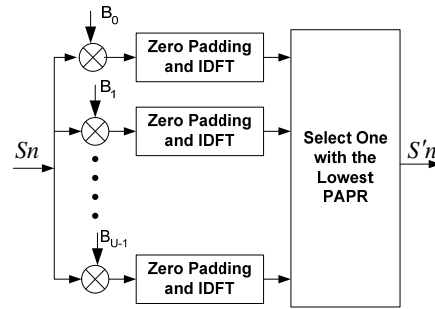
tersebut merupakan nilai pada kondisi *base band* dimana sinyal masih berbentuk diskrit dan berupa amplitudo, untuk kondisi *pass band* nilai PAPR ditambah dengan 3dB. PAPR mempunyai nilai yang random tergantung dari kombinasi fasa simbol mapping, dengan maksimum PAPR sebesar N. S(t) merupakan sinyal OFDM, perhitungan dilakukan dalam tiap periode simbol OFDM. Peluang munculnya PAPR dalam

seluruh sinyal OFDM atau *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) lebih dari $PAPR_0$, didekati dengan rumus,

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

2.2 Selected Mapping (SLM)^[5,22]

Selected Mapping (SLM) mengambil keuntungan dari sifat PAPR suatu sinyal OFDM yang sangat sensitif terhadap pergeseran fasa data dalam domain frekuensi. Reduksi PAPR diperoleh dengan mengalikan suatu deretan faktor fasa dengan deretan data informasi, kemudian dihitung nilai PAPR dari masing-masing hasil perkalian tadi. Hasil perkalian dengan nilai PAPR terendah dipilih kemudian untuk ditransmisikan.



Gambar 2.1 Diagram blok sistem SLM

Misal simbol OFDM yang ditransmisikan adalah

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j \frac{2\pi kn}{N}} = \left[X_0 e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot 0} \right] + \left[X_1 e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot 1} \right] + \dots + \left[X_{N-1} e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot (N-1)} \right]$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

Seperti yang telah dijelaskan, bahwa variasi nilai daya diperoleh saat sinyal dimodulasi dalam fasa. Jadi salah satu cara untuk mereduksi nilai puncak dari variasi data tersebut adalah dengan mengubah faktor fasa persamaan diatas menjadi,

$$S'_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j \frac{2\pi kn}{N}} = \left[X_0 e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot 0} + \phi_0 \right] + \left[X_1 e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot 1} + \phi_1 \right] + \dots + \left[X_{N-1} e^{j \frac{2\pi m}{N} \cdot (N-1)} + \phi_{N-1} \right]$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j \frac{2\pi kn}{N}} + \phi_k$$

$$\phi_k \in [0, 2\pi]$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

ϕ_k merupakan nilai faktor fasa yang dapat menghasilkan PAPR terendah.

Karena begitu banyak deretan faktor fasa yang dapat dipilih agar didapatkan nilai yang optimal maka sistem akan semakin kompleks. Sehingga dipilih nilai faktor fasa tersebut adalah kombinasi random dari

$\{\pm 1, \pm j\}$, karena dapat diimplementasikan tanpa menggunakan multiplier.

$$B^{(u)} = [b_0^{(u)}, b_1^{(u)}, \dots, b_{N-1}^{(u)}]; \quad u = 1, 2, \dots, U$$

$$b_k^{(u)} = e^{j\phi_k^{(u)}}, \quad \phi_k^{(u)} \in [0, 2\pi]$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

Selanjutnya, didapat U deret data yang merupakan hasil perkalian deretan data informasi dengan deretan faktor fasa yaitu

$$X^{m,(u)} = X^m \cdot \phi^{(u)}$$

$$x^{m,(u)} = IFFT(X^{m,(u)})$$

sebagai catatan bahwa semua deretan data X^m membawa informasi data yang sama. Kemudian reduksi PAPR diperoleh dengan memilih simbol dengan nilai PAPR terendah untuk kemudian ditransmisikan.

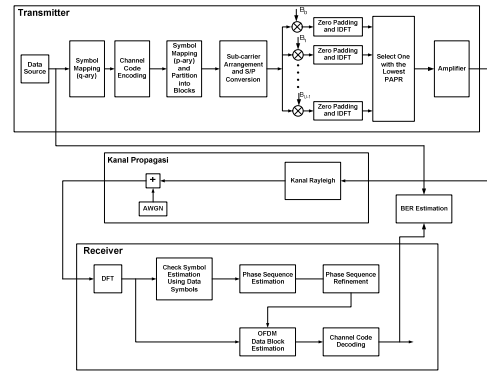
Untuk mengembalikan nilai X, pada receiver perlu untuk mengetahui semua nilai faktor fasa yang digunakan ($B^{(u)}$). Pada SLM konvensional digunakan $R_{ap} = \log_2 U$ bit sisi informasi untuk mengindikasikan jumlah faktor fasa. Informasi tambahan yang harus dikirim inilah yang menyebabkan *data rate* berkurang.

2.3 Channel Coding pada OFDM

Berbagai macam teknik *channel coding*, seperti *block code*, *convolutional code*, atau *Turbo code* dapat digunakan untuk sistem OFDM. Pada tugas akhir ini digunakan block code sederhana sebagai *channel coding*. Suatu *Turbo Code C* merupakan sebuah set dari n-pasang pada GF(q), disebut *codeword*. C merupakan sebuah (n, k) kode dimana n adalah panjang dari kode dan k adalah dimensi dari kode. Saat menggunakan *Turbo Code*, sangat tepat sekali jika menggunakan *encoder* yang sistematis. *Encoder* sistematis untuk sebuah (n, k) *Turbo code* melakukan mapping setiap *dataword* ke dalam sebuah *codeword*, dimana sebanyak k buah simbol data yang tidak diubah nilainya sebagai *codeword* awal sepanjang k. Dan sisanya (n-k) buah simbol merupakan cek simbol. *Convolutional code* sistematis dapat juga digunakan, misalnya dengan rate 1/2 bearti akan ada setengah dari simbol tersebut adalah data simbol sedangkan setengah sisanya adalah cek simbol. Perlu diketahui bahwa *channel coding* digunakan untuk koreksi error, bukan untuk menurunkan nilai PAPR.

3. Model Sistem

3.1 Sistem OFDM dengan Teknik SLM Termodifikasi

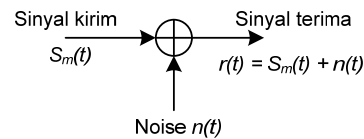


Gambar 3.1 Blok diagram sistem OFDM dengan teknik SLM termodifikasi

3.2 Kanal Transmisi

3.2.1 Kanal AWGN

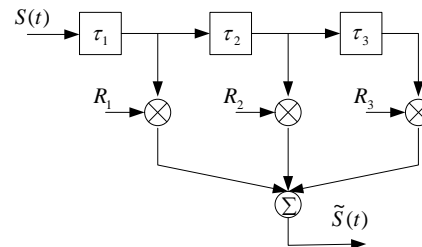
Pemodelan dari kanal AWGN diperlihatkan pada gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Pemodelan kanal AWGN

3.2.2 Kanal Multipath Rayleigh Fading

Dalam simulasi penelitian ini menggunakan pemodelan kanal *Multipath Rayleigh Fading* yang ditunjukkan dengan diagram blok di bawah ini:

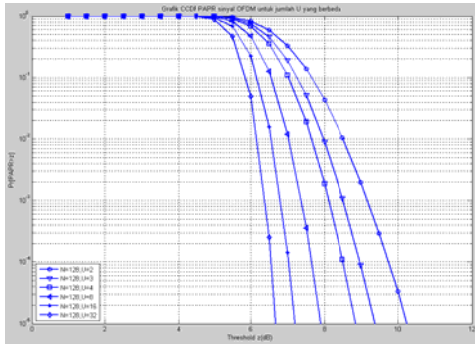


Gambar 3.3 blok 'Jakes model'

4. Analisis Hasil Simulasi

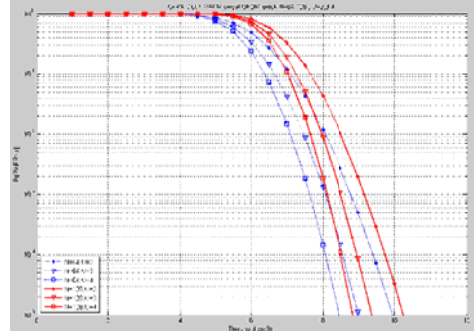
4.1 Simulasi Reduksi PAPR dengan Teknik SLM Termodifikasi

Gambar 4.1 menunjukkan grafik CCDF untuk jumlah faktor fasa pengali (U) yang berbeda-beda.



Gambar 4.1 grafik CCDF sinyal OFDM dengan jumlah *sub-carrier* 128
 $U = 2, 3, 4, 8, 16, 32$

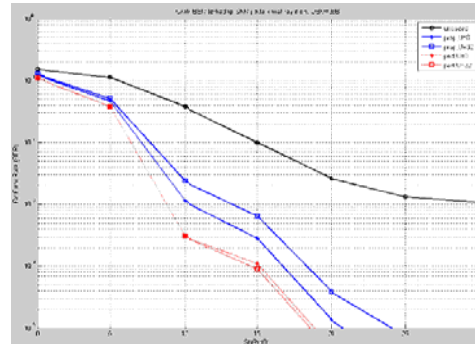
Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin banyak kombinasi jumlah faktor fasa yang digunakan, maka akan semakin baik pula dalam mereduksi PAPR. Namun untuk jumlah *sub-carrier* yang besar dibutuhkan jumlah kombinasi faktor fasa pengali yang cukup banyak juga. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.2. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa untuk U yang kecil (pada simulasi digunakan $U = 2, 3, 4$), reduksi PAPR untuk jumlah *sub-carrier* 64 lebih baik dibandingkan dengan jumlah *sub-carrier* 128. Untuk $U = 2$ didapatkan nilai PAPR maksimum untuk $N = 64$ adalah 9,4207 dB sedangkan untuk $N = 128$ adalah 9,7478 dB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah *sub-carrier* yang dipakai, maka semakin banyak pula kombinasi faktor fasa pengali yang digunakan untuk mereduksi PAPR dengan baik.



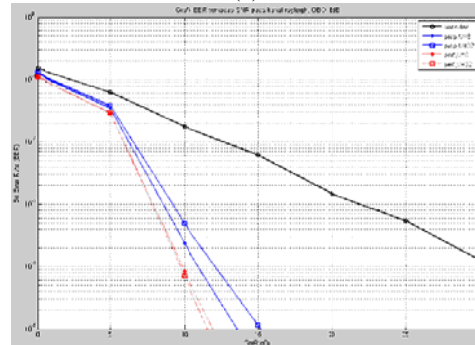
Gambar 4.2 grafik CCDF sinyal OFDM dengan jumlah *sub-carrier* 64 dan 128
 $U = 2, 3, 4$

4.2 Analisa Kinerja Sistem Terhadap Penggunaan Amplifier

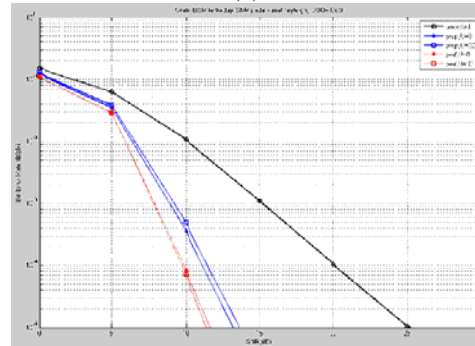
Simulasi dilakukan untuk melihat kinerja sistem dengan menggunakan amplifier pada titik kerja (nilai OBO) yang berbeda. Ketidaklinearan amplifier akan menyebabkan *in band distortion* yang akan menyebabkan degradasi kualitas sinyal dan akan menyebabkan kenaikan BER. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dimana semakin kecil nilai OBO, maka BER akan semakin tinggi.



(a)



(b)



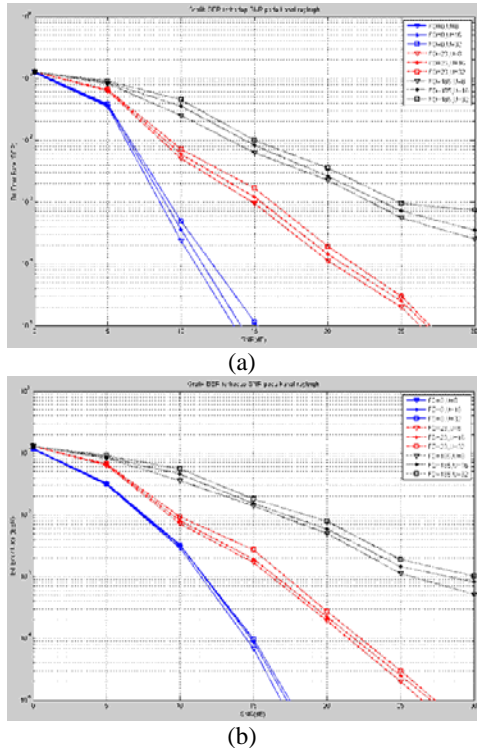
(c)

Gambar 4.3 (a) Kinerja sistem OFDM untuk OBO = 3 dB (b) OBO = 6 dB, (c) OBO = 10 dB

Gambar 4.3 menunjukkan pula perbandingan kinerja antara sistem OFDM asli (*unmodified*) dengan sistem OFDM dengan teknik reduksi SLM termodifikasi. Untuk teknik SLM termodifikasi, kinerja sistem juga dibandingkan bila penentuan faktor fasa diterima terjadi sempurna (*perfect*) terhadap teknik SLM termodifikasi yang digunakan (*propose*). Jika penentuan faktor fasa sempurna, BER untuk $U = 32$ lebih baik daripada untuk $U = 8$, karena grafik PAPR memang lebih baik untuk $U = 32$. Namun sebaliknya, BER untuk teknik SLM termodifikasi yang dipakai untuk $U = 8$ lebih baik daripada $U = 32$. Hal ini disebabkan karena nilai *Euclidian distance* untuk $U = 32$ lebih kecil sehingga menyebabkan kemungkinan *error* pada saat menentukan faktor fasa pengali menjadi lebih besar.

4.3 Kinerja Sistem dalam Kondisi Kanal Terdapat Efek Doppler

Berikut akan disajikan hasil simulasi kinerja sistem OFDM dengan teknik SLM termodifikasi dengan variasi frekuensi *doppler* (FD). Frekuensi *doppler* maksimum yang digunakan adalah 0 Hz, 23 Hz, dan 185 Hz. Nilai ini didapatkan dari kecepatan *user* bergerak yaitu 0 km/h, 5 km/h, dan 40 km/h, dengan frekuensi *carrier* sebesar 5 GHz.



Gambar 4.4 Kinerja sistem dengan variasi frekuensi *doppler* (a) $N = 128$, (b) $N = 256$

Dari gambar 4.4(a) dan 4.4(b) terlihat bahwa frekuensi *doppler* sangat mempengaruhi kinerja sistem. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa sistem dengan U yang lebih kecil, lebih baik kinerjanya dibandingkan sistem dengan U yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada saat penentuan faktor fasa pengali untuk sistem dengan U yang lebih besar, nilai *Euclidian distance*-nya lebih kecil. Sehingga kemungkinan terjadinya *error* dalam penentuan faktor fasa yang tepat akan semakin besar.

4.4 Perbandingan antara teknik SLM termodifikasi dan teknik SLM konvensional, terhadap sinyal OFDM asli

4.4.1 Reduksi PAPR

Dengan melakukan perhitungan PAPR pada simbol-simbol OFDM yang berbeda sebanyak 10.000 kali, didapatkan nilai PAPR yang berbeda, jika disajikan dalam bentuk grafik CCDF akan terlihat seperti pada gambar 4.5. Ini terbukti bahwa nilai PAPR pada sinyal OFDM

akan bervariasi. Dari hasil simulasi terlihat bahwa teknik reduksi SLM dapat memperkecil peluang munculnya PAPR yang tinggi dibandingkan jika tanpa menggunakan teknik reduksi (sinyal OFDM asli / *unmodified*).

Gambar 4.5 juga menunjukkan grafik CCDF untuk sistem OFDM dengan teknik reduksi SLM termodifikasi (*propose*) dibandingkan dengan teknik SLM konvensional (*ordinary*). Dari gambar tersebut terlihat bahwa teknik SLM konvensional lebih baik dalam mereduksi PAPR dibandingkan dengan teknik SLM termodifikasi. Gambar 4.5 (a) menunjukkan PAPR untuk $N = 128$ dengan $U = 8, 16, 32$. Pada gambar tersebut untuk sinyal OFDM asli memiliki nilai PAPR lebih besar dari 11,1676 dB untuk kurang dari 0,01% dari simbol OFDM pada $N = 128$. Maksudnya adalah dari 10.000 simbol OFDM, kemungkinan simbol tersebut hanya terpotong 1 simbol saja jika PAPR-nya adalah 11,1676 dB. Untuk $U = 8$, 0,01% PAPR untuk teknik SLM konvensional adalah 6,7699 dB sedangkan untuk SLM termodifikasi adalah 7,3197 dB. Untuk $U = 16$, 0,01% PAPR untuk teknik SLM konvensional adalah 6,0150 dB sedangkan untuk SLM termodifikasi adalah 6,5366 dB. Untuk $U = 32$, 0,01% PAPR untuk teknik SLM konvensional adalah 5,4071 dB sedangkan untuk SLM termodifikasi adalah 5,9320 dB.

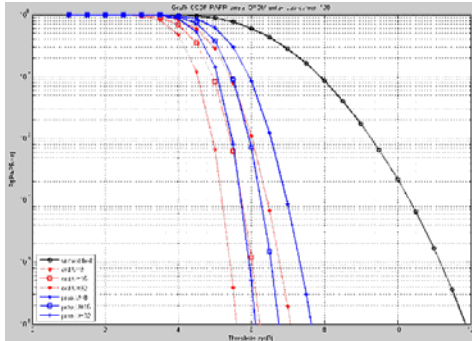
Perbedaan kinerja antara teknik SLM konvensional dan SLM termodifikasi dalam mereduksi PAPR, terjadi karena pada teknik SLM termodifikasi terjadi pembatasan pada proses pembentukan faktor fasa pengali, dimana tidak semua *sub-carrier* diubah fasanya. Sehingga kinerja teknik SLM termodifikasi dalam mereduksi PAPR tidak sebaik teknik SLM konvensional. Perbedaan nilai PAPR ini sangat berkaitan erat dengan nilai (n, k) atau *code rate* $r = k/n$. Jika *code rate* ini semakin mendekati 0, maka perbedaannya akan semakin kecil.

Gambar 4.5 (b) menunjukkan PAPR untuk $N = 256$ dengan $U = 8, 16, 32$. Hasilnya memiliki kecenderungan yang sama dengan gambar 4.4 (a). Untuk nilai 0,01% PAPR selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut,

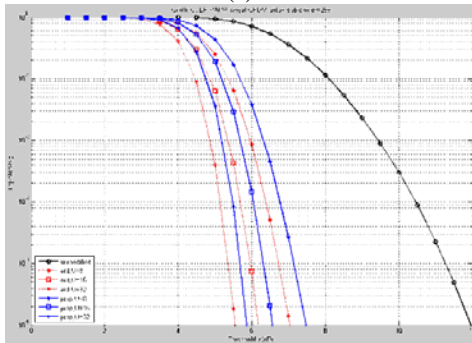
Tabel 4.1 nilai 0,01% PAPR

teknik	N	U	0,01% PAPR
OFDM asli	128	-	11,1676 dB
	256	-	11,2669 dB
SLM konvensional	128	8	6,7699 dB
		16	6,0150 dB
		32	5,4071 dB
	256	8	6,7283 dB
		16	5,9624 dB
		32	5,3435 dB
SLM	128	8	7,3197 dB

termodifikasi	16	6,5366 dB	
		32	5,9320 dB
		8	7,1445 dB
	256	16	6,3124 dB
		32	5,6771 dB



(a)

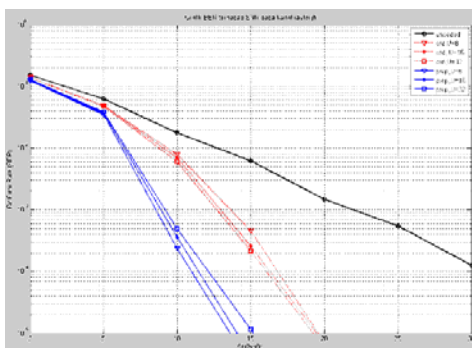


(b)

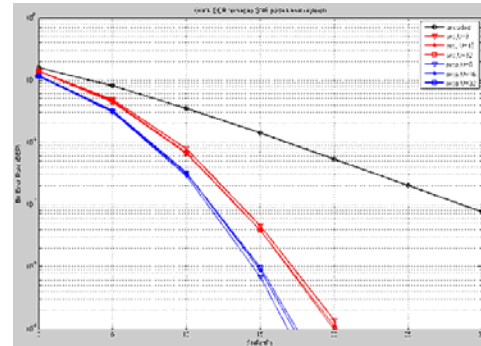
Gambar 4.5 (a) grafik CCDF sinyal OFDM untuk *sub-carrier* 128 (b) grafik CCDF sinyal OFDM dengan jumlah *sub-carrier* 256

4.4.2 Analisa Kinerja Sistem

Pada bagian ini akan diperlihatkan pengaruh penggunaan teknik reduksi SLM termodifikasi terhadap kinerja sistem OFDM. Sistem akan bekerja pada lingkungan kanal *multipath Rayleigh fading* dan noise AWGN untuk *sub-carrier* 128 dan 256, modulasi QPSK. Simulasi ini juga dilakukan untuk melihat kinerja sistem dengan menggunakan nilai titik kerja *amplifier* (OBO) pada 6 dB.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Kinerja sistem OFDM dengan teknik SLM termodifikasi dibandingkan terhadap teknik SLM konvensional dan OFDM asli untuk (a) $N = 128$, (b) $N = 256$

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa kinerja sistem OFDM dengan teknik reduksi SLM termodifikasi lebih baik dibandingkan dengan teknik SLM konvensional, apa lagi jika dibandingkan dengan tanpa teknik reduksi (OFDM asli). Teknik SLM termodifikasi dapat lebih baik kinerjanya dibandingkan dengan teknik SLM konvensional disebabkan karena pada teknik SLM termodifikasi menggunakan pengkodean, sehingga pada penerima terjadi proses perbaikan *error*. Selain itu, pada teknik SLM konvensional kemungkinan kesalahan dapat terjadi karena informasi faktor fasa pengali dikirimkan bersama-sama data.

Gambar 4.6(b) menunjukkan hal yang sama seperti pada gambar 4.6(a). Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa kinerja sistem dengan $N = 128$ sedikit lebih baik dibandingkan dengan sistem dengan $N = 256$. Hal ini disebabkan karena, untuk alokasi bandwidth yang sama, sistem dengan N yang lebih sedikit memiliki lebar bandwidth untuk masing *sub-carrier*-nya lebih besar.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi sistem dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Reduksi nilai PAPR akan semakin baik dengan semakin banyak jumlah faktor fasa (U) yang digunakan. Pada teknik SLM termodifikasi, untuk 10^4 simbol OFDM, PAPR maksimum yang muncul untuk sejumlah faktor fasa 8, 16 dan 32 dengan *sub-carrier* 128 yaitu berturut-turut adalah 7,3197 dB, 6,5366 dB dan 5,9320 dB. Sedangkan untuk sinyal OFDM asli yaitu 11,1676 dB.
2. Untuk jumlah *sub-carrier* yang besar, dibutuhkan jumlah faktor fasa yang cukup besar pula. Untuk jumlah U yang sama ($U = 2$) untuk 10^4 simbol OFDM,

- PAPR maksimum yang muncul untuk $N = 64$ adalah 9,4207 dB, sedangkan untuk $N = 128$ adalah 9,7478 dB.
3. Untuk penggunaan amplifier, semakin tinggi titik kerja yang digunakan (OBO), maka kinerja sistem akan semakin baik. Untuk U yang sama ($U = 8$), target BER 10^{-4} pada saat OBO = 3 dB dicapai pada SNR 18 dB, saat OBO = 6 dB dicapai pada SNR 12 dB, dan saat OBO = 10 dB dicapai pada SNR 11 dB.
 4. Pada kondisi terdapat frekuensi doppler, untuk teknik SLM konvensional maupun teknik SLM termodifikasi masih dapat mencapai target BER 10^{-4} sedangkan untuk OFDM asli hanya dapat mencapai BER 10^{-3} .
 5. Untuk kedua teknik SLM, teknik SLM konvensional sedikit lebih baik dalam mereduksi PAPR, dibandingkan dengan teknik SLM termodifikasi. Untuk 10^4 simbol OFDM, $U = 8$ dan $N = 128$, PAPR maksimum untuk SLM konvensional adalah 6,7699 dB sedangkan SLM termodifikasi adalah 7,3197 dB. Ini masih jauh lebih baik bila dibandingkan dengan OFDM asli yaitu 11,1676 dB.
 6. Untuk kedua teknik SLM, teknik SLM termodifikasi memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan teknik SLM konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baxley, Robert J., Analyzing Selected Mapping for Peak-to-Average Power Reduction in OFDM, 2005.
- [2] Bernard, Sklar, Digital Communications, Fundamental and Applications, 1998.
- [3] Firdaus, Eko, Analisa Performansi Sistem MIMO-OFDM pada Wireless LAN, 2005.
- [4] G. L. Stuber, Principles of Mobile Communication, 2001.
- [5] Han, Seung Hue, Modified Selected Mapping Technique for PAPR Reduction of Coded OFDM Signal, 2004.
- [6] John, G. Proakis, Digital Communications, 1995.
- [7] Lawrey, Eric, The Suitability of OFDM as a Modulation Technique for Wireless Telecommunications, with a CDMA Comparison, 1997.
- [8] Rappaport, Theodore S., Wireless Communications Principles and Practices, IEEE, Inc. New York.
- [9] Richard Van Nee dan Ramjee Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, 2000.
- [10] Sari, Rini Purnama, Reduksi PAPR dengan Menggunakan Partial Transmit Sequences (PTS) dan Selected Mapping (SLM) pada sistem OFDM. 2006.
- [11] Saputra, Dona, Perbandingan Kinerja Sistem OFDM dengan Reduksi PAPR menggunakan A-Law dan u-Law Companding, 2005.
- [12] Schrugers, Cort dan Mani B. Srivastava, A systematic Approach to Peak-to-Average Power Ratio in OFDM, 2002.
- [13] Shu Lin, Daniel J. Costello Jr., Error Correcting Codes, 1983.
- [14] Suhendra, Dedy, Reduksi PAPR dan Koreksi Kesalah Bit dengan Menggunakan Pengkodean Complementary, 2004.
- [15] Sun, Jian, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for Wireless Communication, Wireless Communication Research Laboratory, 2003.
- [16] S. B. Wicker, Error Control Systems for Digital Communication and Storage, 1995.
- [17] V. Tarokh dan H. Jafarkhani, On the Computation and Reduction of Peak-to-Average Power Ratio in Multicarrier Communications, 2000.
- [18] Wasaff, Hugo Durney, Adaptive Pre-Distortion for NonLinear High Power Amplifiers in OFDM Systems, 2004.
- [19] Wasono, Rahmad Tri, Reduksi PAPR dan ICI pada Sistem Komunikasi OFDM dengan Menggunakan Skema Modulasi Adaptif M-ZPSK, 2005.
- [20] Winata, Hendra, Unjuk Kerja Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM) pada kanal Radio Mobile, 2004.
- [21] Winoto, Renaldi, Peak-to-Average Power Control in OFDM Systems, 2004.