

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN POWER LOADING TERHADAP PAPR PADA SISTEM OFDM

Adela Karina¹, Budi Prasetya², Heroe Wijanto³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom

^{1,2,3}Jln Telekomunikasi No. 1, Bandung, 40275

Telp : (022) 7564108 ext. 2326, Fax: (022) 7565933

della_renz@yahoo.com¹, bpy@ittelkom.ac.id², hrw@ittelkom.ac.id³

ABSTRACT

OFDM memungkinkan sistem bekerja dengan spektral efisiensi tinggi karena penggunaan sub-carrier yang orthogonal dapat menghindari interferensi antar sub-carrier sehingga dapat mereduksi efek kanal multipath. Sementara itu, power loading diketahui dapat meminimalisasi BER sistem OFDM dengan melakukan alokasi bit dan power pada tiap sub-carrier berdasarkan feedback kondisi kanal. Tetapi muncul dugaan bahwa penggunaan power loading akan memperbesar nilai Peak to Average Power Ratio (PAPR) karena pada kenyataannya sistem OFDM tidak pernah terlepas dari pengaruh PAPR yang terjadi pada setiap usaha yang dilakukan untuk meningkatkan performansinya.

Dalam Penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui sejauh mana penggunaan power loading dapat memperbaiki performansi sistem dan sejauh mana penggunaan power loading dapat mempengaruhi nilai PAPR. Analisis dilakukan pada skema modulasi fixed dan adaptif untuk modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM dengan memperhatikan pengaruh variasi pergerakan user yang ditunjukkan dengan frekuensi doppler. Analisis juga dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan jumlah sub-carrier berbeda terhadap nilai PAPR sistem.

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa power loading dapat digunakan untuk memperbaiki performansi sistem dengan memberikan coding gain sebesar 3.5 dB pada modulasi 16-QAM, dan sebesar 5.5 dB pada modulasi 64-QAM. Semakin tinggi orde modulasi, maka performansi sistem OFDM power loading akan semakin baik seiring dengan semakin besarnya coding gain yang diberikan. Penggunaan power loading tidak membuat nilai PAPR sistem membesar, sebaliknya power loading dapat memperkecil nilai PAPR karena proses pengalokasian bit dan power dapat menghindari adanya peak sinyal yang melewati daerah linear amplifier.

Kata Kunci: OFDM, Power Loading, BER, PAPR

PENDAHULUAN

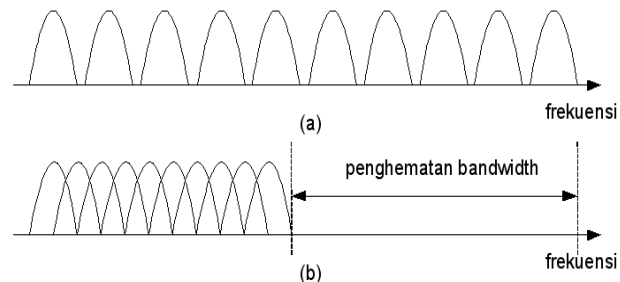
Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing (OFDM) adalah teknik dengan utilitas spektral yang efisien dan tahan terhadap frekuensi *selective fading* karena teknik ini membagi data berkecepatan tinggi dengan membagi *carrier* menjadi banyak *sub-carrier* yang bersifat *orthogonal* dengan kecepatan bit lebih rendah, sehingga akan didapat deretan paralel sinyal dengan *data rate* yang rendah. Penggunaan *sub-carrier* yang rapat dan saling *orthogonal* ini lebih dapat menghemat *bandwidth* karena memungkinkan *sub-carrier* untuk *overlapping* dan masing-masing *sub-carrier* mengalami *flat fading* tanpa terjadi interferensi

Belakangan ini telah diketahui bahwa *power loading* adalah salah satu upaya untuk meningkatkan performansi OFDM dengan cara mengatur alokasi bit dan *power* yang diberikan pada masing-masing *sub-carrier* berdasarkan *feedback*. *Feedback* yang dikirim kemudian akan digunakan *transmitter* untuk dapat mengalokasikan *power* transmit pada masing-masing *sub-carrier* secara tepat. *Power loading* membuat BER OFDM menjadi lebih baik, tetapi di sisi lain OFDM mengalami masalah PAPR (*peak to average power ratio*) yang merupakan perbandingan amplitudo maksimum sinyal dengan amplitudo rata-ratanya. Penggunaan *power loading* diduga menimbulkan konsekuensi tertentu pada besarnya nilai

PAPR, oleh karena itu perlu diperhatikan konsekuensi yang ditimbulkan dari setiap usaha yang dilakukan untuk meningkatkan performansi OFDM [9].

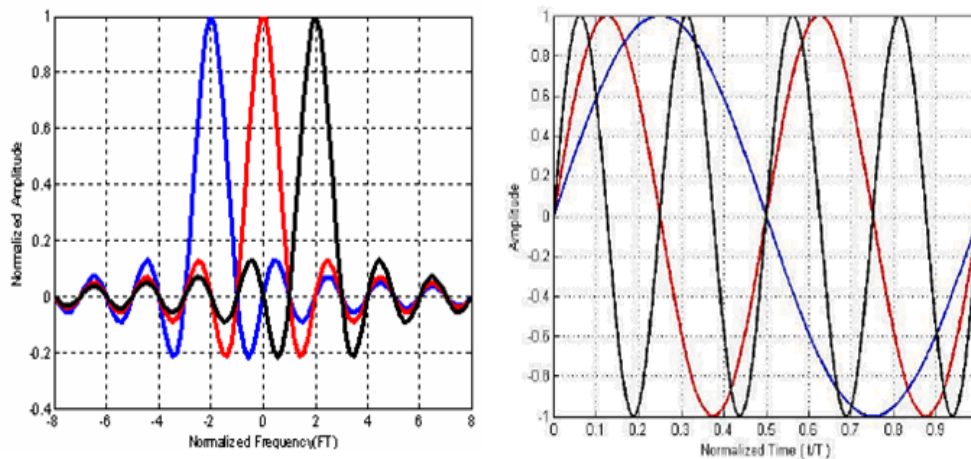
Prinsip Dasar OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) yang muncul sebagai solusi untuk mengatasi masalah dalam propagasi gelombang di udara adalah sebuah teknik modulasi *multicarrier* menggunakan frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). *Orthogonalitas* dalam OFDM memberikan transmisi secara simultan pada *sub-carrier* yang banyak dalam ruang frekuensi yang sempit tanpa saling berinterferensi sehingga pada akhirnya akan terjadi penghematan *bandwidth* yang cukup besar.



Gambar 1 Teknik modulasi *multicarrier* (a) FDM konvensional, (b) OFDM

Ide dasar dari OFDM adalah mentransmisikan data menggunakan FDM (*frequency division multiplexing*) sementara konsep dasar OFDM adalah membagi data serial berkecepatan tinggi menjadi data paralel berkecepatan rendah yang ditransmisikan oleh beberapa *sub-carrier*.



Gambar 2 Spektral sinyal OFDM dengan 3 *sub-carrier* (a) dalam domain frekuensi dan (b) dalam domain waktu

Kanal *Multipath Fading*

Proses transmisi sinyal yang sampai ke penerima tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sehingga mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang akan mengakibatkan penguatan atau redaman sinyal terima yang biasa disebut *fading*. *Fading* didefinisikan sebagai fluktuasi daya di penerima yang disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih sinyal *multipath* yang diterima *receiver* pada saat berbeda.

Rayleigh Fading

Distribusi *Rayleigh* digunakan menggambarkan kondisi propagasi sinyal terburuk dimana seluruh sinyal terima merupakan sinyal pantulan dengan fungsi kerapatan probabilitas sebagai berikut:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (1)$$

Kanal AWGN

Kanal ideal (AWGN) meloloskan semua spektrum sinyal tanpa distorsi karena kanal memiliki *bandwidth* tak berhingga sehingga respon frekuensi dianggap *flat* untuk semua frekuensi. Fungsi pdf AWGN adalah:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(x-m)^2 / 2\sigma^2\right] \quad (2)$$

Peak to Average Power Ratio (PAPR) [8]

PAPR merupakan perbandingan daya puncak dengan daya rata-rata sinyal akibat modulasi *sub-carrier* yang dilakukan dengan frekuensi berbeda, sehingga apabila beberapa *sub-carrier* mempunyai fasa yang koheren akan muncul amplitudo dengan level yang lebih besar dari daya rata-rata sinyal sehingga OFDM membutuhkan komponen sistem dengan daerah operasi linear yang besar untuk mengakomodasi amplitudo sinyal. Pada OFDM, PAPR sinyal yang ditransmisikan dapat didefinisikan sebagai berikut:

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

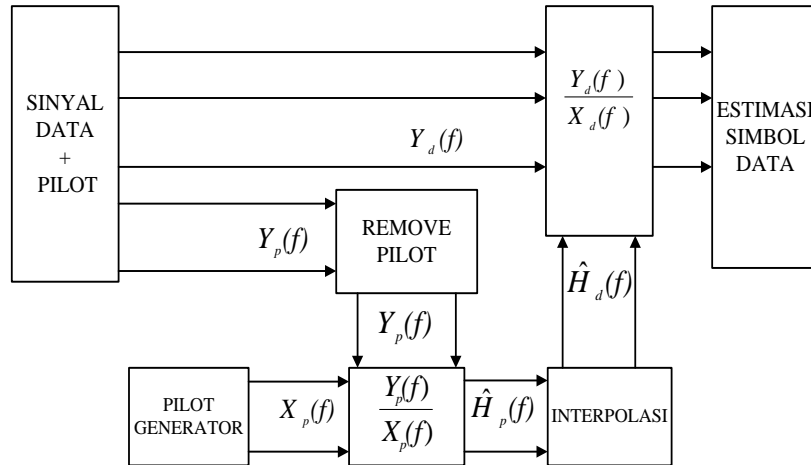
Sementara peluang munculnya PAPR dalam seluruh sinyal OFDM atau *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) lebih dari $PAPR_0$, didekati dengan rumus berikut ini:

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

Pilot Based Channel Estimator

Estimasi kanal merupakan proses untuk mengetahui respon kanal yang digunakan untuk memberikan referensi amplituda dan fasa sehingga proses deteksi dan demodulasi simbol dapat dilakukan dengan benar. Metode estimasi kanal dengan menggunakan sinyal pilot dilakukan dengan cara menyisipkan sinyal pilot pada *sub-carrier* tertentu. Berdasarkan respon kanal yang dialami oleh *pilot sub-carrier*, maka estimasi terhadap respon kanal yang dialami *sub-carrier* lainnya dapat dilakukan dengan cara melakukan interpolasi terhadap nilai respon kanal yang dialami *pilot sub-carrier*.

PILOT BASED CHANNEL ESTIMATOR



Gambar 3 Blok diagram *pilot based channel estimator*

Singular Value Decomposition (SVD)

SVD akan menguraikan (melakukan dekomposisi) matriks kanal hasil estimasi menjadi 3 komponen matriks. Matriks H dapat didekomposisi menggunakan teknik SVD menjadi:

$$H = USV' \quad (5)$$

Dimana:

H = matriks berdimensi

U = matriks *unitary orthogonal* ($U'U=I$)

S = matriks diagonal dengan nilai singular s

V = matriks *unitary orthogonal* ($V'V=I$)

($'$) = operasi *hermitian transpose / complex conjugate*

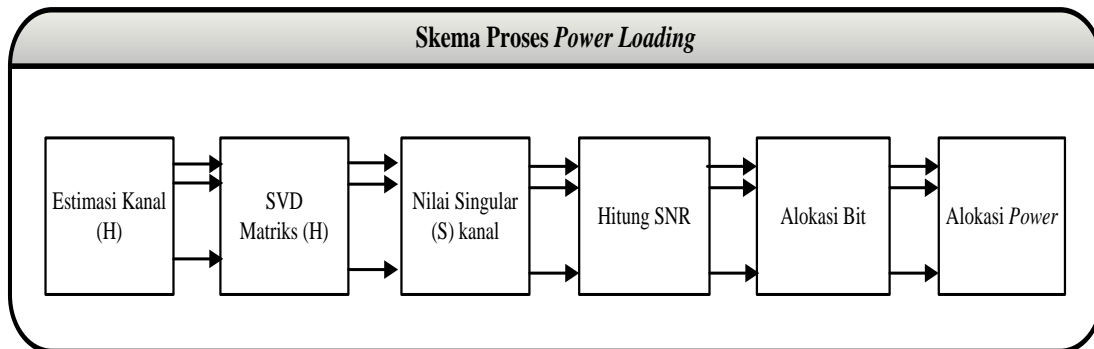
Misalkan u_i merupakan kolom-kolom dari matriks U dan v_i merupakan kolom-kolom dari matriks V . Dengan demikian, ekspansi dari H adalah:

$$H_i = \sum_{i=1}^n u_i s_i v_i' \quad (6)$$

Power Loading Menggunakan Feedback [2] [5]

Power loading merupakan *power control* yang dilakukan untuk mengoptimasi performansi sistem, dalam hal ini meminimalisasi BER sistem OFDM dengan mengatur alokasi bit dan *power* pada tiap *sub-carrier* berdasarkan *feedback* kondisi kanal yang dialami oleh tiap *sub-carrier*. *Power loading* memiliki dua prinsip dalam melakukan alokasi *power* pada tiap *sub-carrier*, yaitu:

- Jika kondisi kanal baik, maka alokasi bit yang akan semakin besar dan alokasi *power* yang didapatkan juga semakin besar.
- Jika kondisi kanal buruk, maka alokasi bit yang didapatkan akan semakin kecil dan alokasi *power* yang didapatkan juga semakin kecil



Gambar 4 Alur proses *power loading*

Tiap *sub-carrier* pada skema *power loading* memiliki bobot *power* awal yang sama, tetapi setelah ditransmisikan besarnya bobot *power* menjadi tidak seragam. Setelah proses transmisi, *receiver* dapat mengetahui respon kanal yang dialami oleh setiap *sub-carrier* melalui proses estimasi kanal. Setelah itu *receiver* melakukan proses SVD terhadap kanal untuk mendapatkan komponen matriks U , S dan V' . Matriks U digunakan *receiver* untuk mengkompensasi sinyal di sisi penerima, sementara S dan V' akan diumpukan balik ke *transmitter* melalui kanal *feedback*. *Transmitter* menggunakan matriks V' untuk mengkompensasi sinyal di sisi pengirim sementara nilai singular (S) digunakan pada perhitungan SNR untuk kemudian dapat dilakukan alokasi bit dan *power* pada tiap *sub-carrier*. Proses pengalokasian bit dan *power* pada *power loading* dilakukan dengan menggunakan algoritma *power loading*. Berikut ini adalah langkah algoritma *power loading* dalam melakukan alokasi bit dan *power*, yaitu:

Inisialisasi Alokasi Bit dan *Power*

Pada tahap inisialisasi terdapat N fungsi $e_n(b)$ dimana N adalah jumlah *sub-carrier* dan $e_n(b)$ merepresentasikan jumlah *power* yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sejumlah b bit pada *sub-carrier* n . Asumsikan $e_n(0) = 0$, sehingga alokasi *power* yang akan dilakukan sesuai dengan formula berikut ini [2]:

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \sum_{n=1}^N e_n(b_n) \\ & \text{subject to } \sum_{n=1}^N b_n = B \\ & b_n \in \mathbb{Z}, \quad b_n \geq 0, \quad n = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

Optimasi Alokasi Bit

Selanjutnya akan dilakukan optimasi alokasi bit seperti berikut ini:

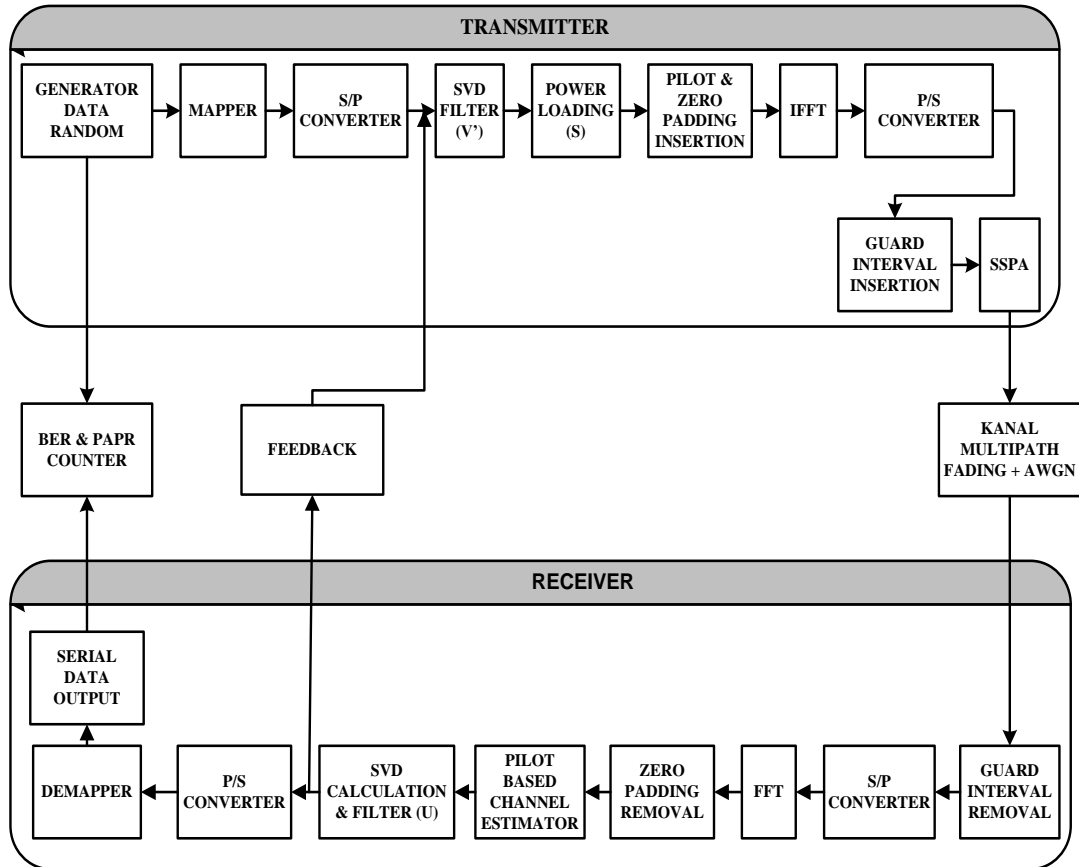
Input: b , inisialisasi alokasi bit

Output: B , jumlah total bit yang dialokasikan b , alokasi bit teroptimasi

Optimasi ini dilakukan untuk mendapatkan jumlah bit optimal pada tiap *sub-carrier*.

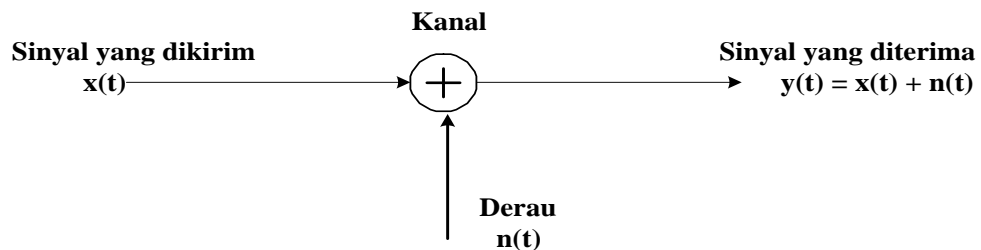
PERANCANGAN MODEL DAN SIMULASI SISTEM

Blok Diagram OFDM *Power Loading*



Gambar 5 Blok diagram sistem OFDM menggunakan *power loading*

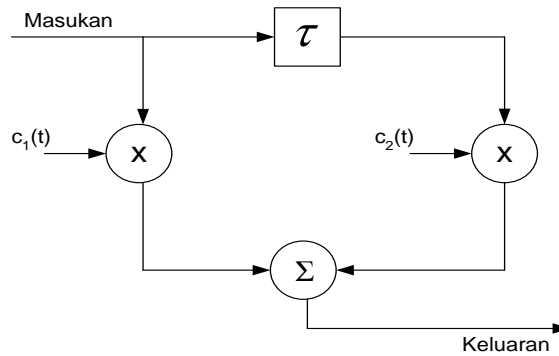
Pemodelan Kanal AWGN



Gambar 6 Pemodelan kanal AWGN

Pemodelan Kanal Rayleigh

Pemodelan kanal *multipath* berdistribusi Rayleigh menggunakan metode "*Jakes two-ray model*" yang menggunakan 2 koefisien *fading* yang saling independen.



Gambar 7 Model *two-ray multipath* Rayleigh fading

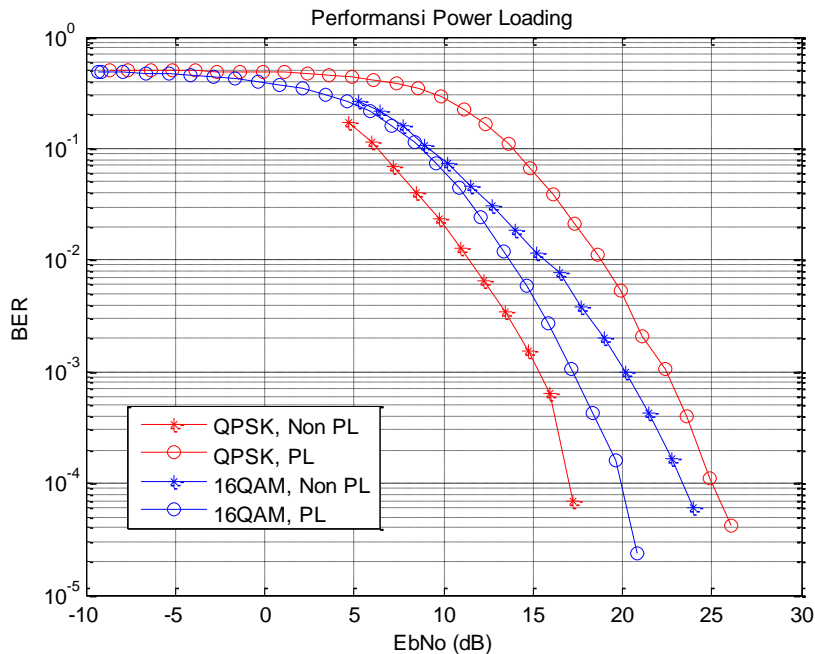
Tabel 1. Parameter OFDM IEEE 802.16e

PARAMETER	VALUE AND UNIT
<i>Frequency Carrier</i>	3.5 GHz
<i>Bandwidth (BW)</i>	3.5 MHz
<i>FFT size (N_{FFT})</i>	256, 512
<i>Jumlah sub-carrier data</i>	192, 384
<i>Jumlah sub-carrier pilot</i>	8, 16
<i>Jumlah zero padding</i>	56, 112
<i>Frequency Sampling (F_s)</i>	4 MHz
<i>Sub-carrier spacing (Δf)</i>	$F_s / N_{FFT} = 4 \text{ MHz} / 256 = 15,625 \text{ KHz}$
	$F_s / N_{FFT} = 4 \text{ MHz} / 512 = 7,8125 \text{ KHz}$
<i>Useful symbol time (T_b)</i>	$1 / \Delta f = 1 / 15.625 \text{ KHz} = 64 \mu\text{s}$
	$1 / \Delta f = 1 / 7.8125 \text{ KHz} = 128 \mu\text{s}$
<i>Guard Interval Ratio (G)</i>	1 / 32
<i>Guard Interval Time (T_g)</i>	$G \cdot T_b = 1/32 \times 64 \mu\text{s} = 2 \mu\text{s}$
	$G \cdot T_b = 1/32 \times 128 \mu\text{s} = 4 \mu\text{s}$
<i>OFDM symbol time</i>	$T_b + T_g = 64 \mu\text{s} + 2 \mu\text{s} = 66 \mu\text{s}$
	$T_b + T_g = 64 \mu\text{s} + 4 \mu\text{s} = 68 \mu\text{s}$
<i>Modulasi & Demodulasi</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>Average speed of user</i>	(0, 3, 30,120) km/jam
<i>Doppler frequency</i>	(0, 9.8, 98, 392.15) Hz

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Performansi *Power Loading* pada Modulasi QPSK dan 16-QAM

Pada bagian ini akan dianalisis sejauh mana penggunaan *power loading* pada modulasi QPSK dan 16-QAM mempengaruhi performansi sistem OFDM. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan performansi sistem sebelum menggunakan *power loading* (non *power loading*) dan sesudah menggunakan *power loading*. Simulasi dilakukan pada kondisi kanal *frequency selective fading* berdistribusi Rayleigh dan *noise additive* berdistribusi Gaussian untuk *sub-carrier* sejumlah 256. Gambar 8 berikut ini menunjukkan grafik performansi *power loading* pada modulasi QPSK dan 16-QAM.



Gambar 8. Performansi sistem *power loading* [$N=256$, Modulasi QPSK, 16-QAM]

Pada gambar diatas terlihat bahwa performansi sistem akan dipengaruhi oleh jenis modulasi yang digunakan. Semakin tinggi orde modulasi (16-QAM), maka performansi akan semakin menurun. Data diatas juga menunjukkan bahwa *power loading* dapat digunakan untuk memperbaiki performansi sistem jika diterapkan pada orde modulasi tinggi seperti 16-QAM. Semakin tinggi orde modulasi, maka performansi sistem menggunakan *power loading* akan semakin baik. Adapun untuk target BER sebesar 10^{-4}

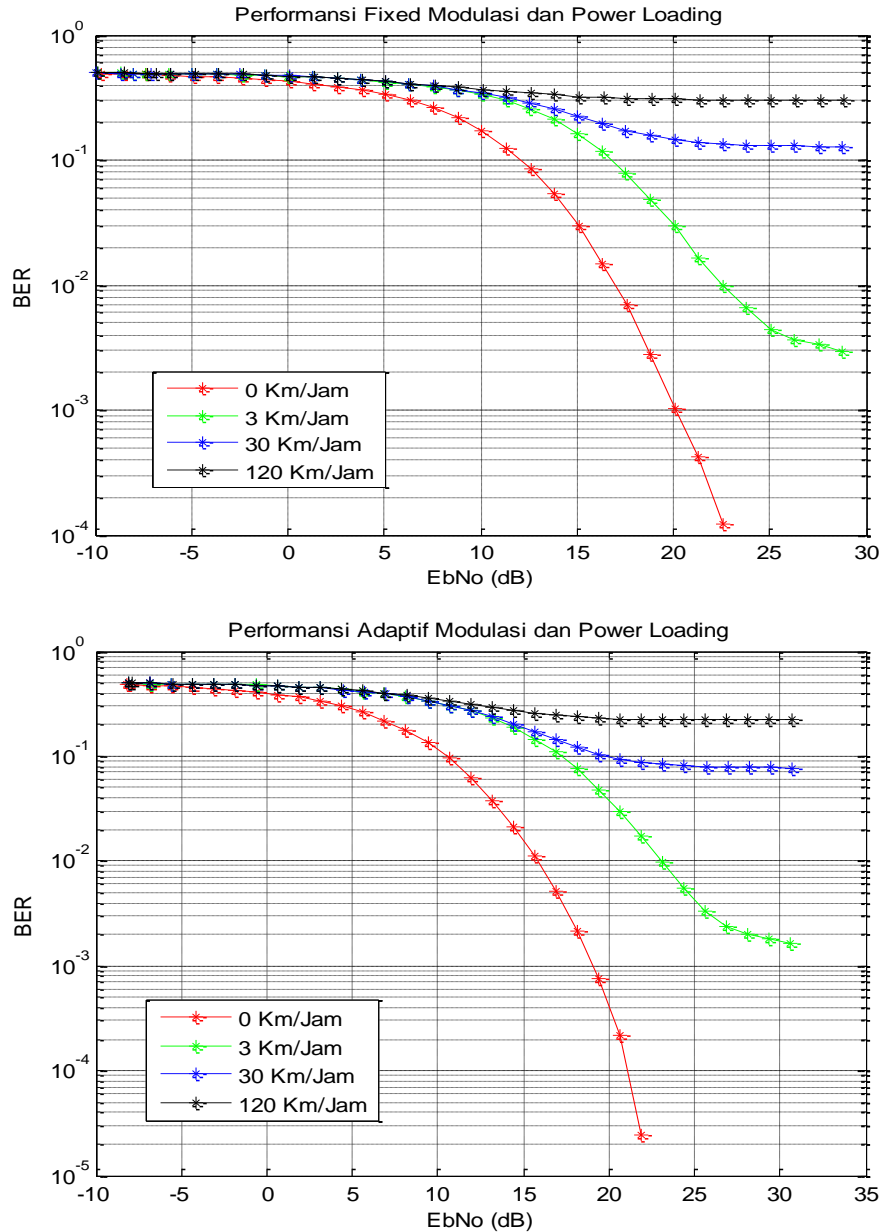
Tabel 2. E_b/N_0 required sistem OFDM *Power Loading* untuk target BER 10^{-4}

Jenis Modulasi	OFDM Non <i>Power Loading</i>	OFDM <i>Power Loading</i>	<i>Coding Gain</i>
QPSK	17 dB	25 dB	- 8 dB
16-QAM	23.5 dB	20 dB	3.5 dB

Berdasarkan tabel 2 terlihat bahwa pada modulasi 16-QAM performansi sistem OFDM *power loading* lebih bagus jika dibandingkan sistem OFDM non *power loading* dan sebaliknya pada modulasi QPSK performansi sistem OFDM non *power loading* lebih bagus jika dibandingkan sistem OFDM *power loading*.

Analisis Performansi *Power Loading* pada Berbagai Kondisi Kecepatan *User*

Pada bagian ini akan dianalisis sejauh mana frekuensi *doppler* yang diwakili oleh kecepatan *user* mempengaruhi performansi sistem OFDM *power loading* menggunakan *fixed* modulasi 64-QAM dan adaptif modulasi menggunakan 16-QAM dan 64-QAM. Pada simulasi ini sistem akan bekerja pada kondisi kanal *frequency selective fading* berdistribusi Rayleigh dan *noise additive* berdistribusi Gaussian untuk *sub-carrier* sejumlah 256. Gambar berikut menunjukkan performansi sistem OFDM *power loading* pada berbagai kondisi kecepatan *user*.



Gambar 9 Performansi OFDM *power loading* pada berbagai kecepatan *user*: *fixed* modulasi dan adaptif modulasi [$N=256$, Kecepatan 0, 3, 30, 120 km/jam]

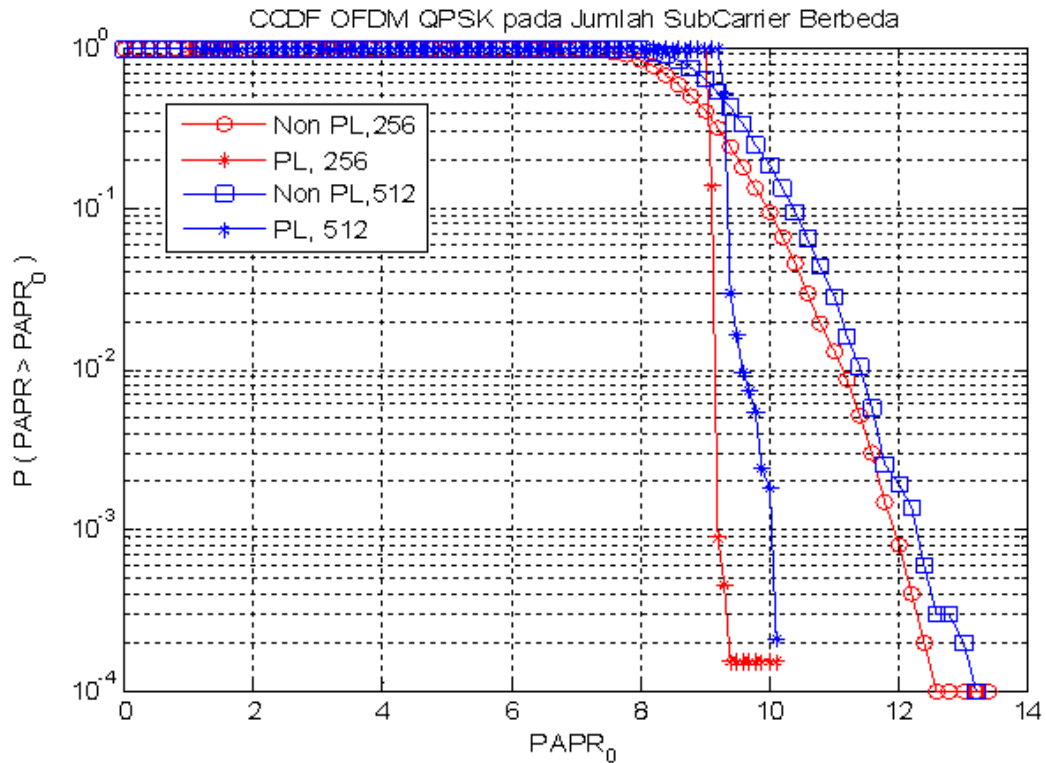
Terlihat bahwa semakin cepat pergerakan *user* atau semakin tinggi frekuensi *doppler*, maka performansi sistem OFDM *power loading* baik menggunakan *fixed* modulasi maupun adaptif modulasi akan semakin menurun.

Analisis Pengaruh Penggunaan *Power Loading* terhadap PAPR Sistem OFDM

Pada bagian ini akan dianalisis pengaruh penggunaan *power loading* terhadap PAPR sistem OFDM untuk mengetahui apakah penggunaan *power loading* menimbulkan konsekuensi tertentu terhadap besarnya nilai PAPR. Analisis juga dilakukan untuk melihat apakah skema modulasi yang digunakan, yaitu *fixed* dan adaptif modulasi berpengaruh terhadap besarnya nilai PAPR sistem.

Fixed Modulasi QPSK

Gambar berikut adalah hasil simulasi sistem OFDM *power loading* dalam bentuk grafik CCDF (*Complementary Cumulative Distribution Function*).



Gambar 10 Grafik CCDF sinyal OFDM [$N=256, 512$, modulasi QPSK]

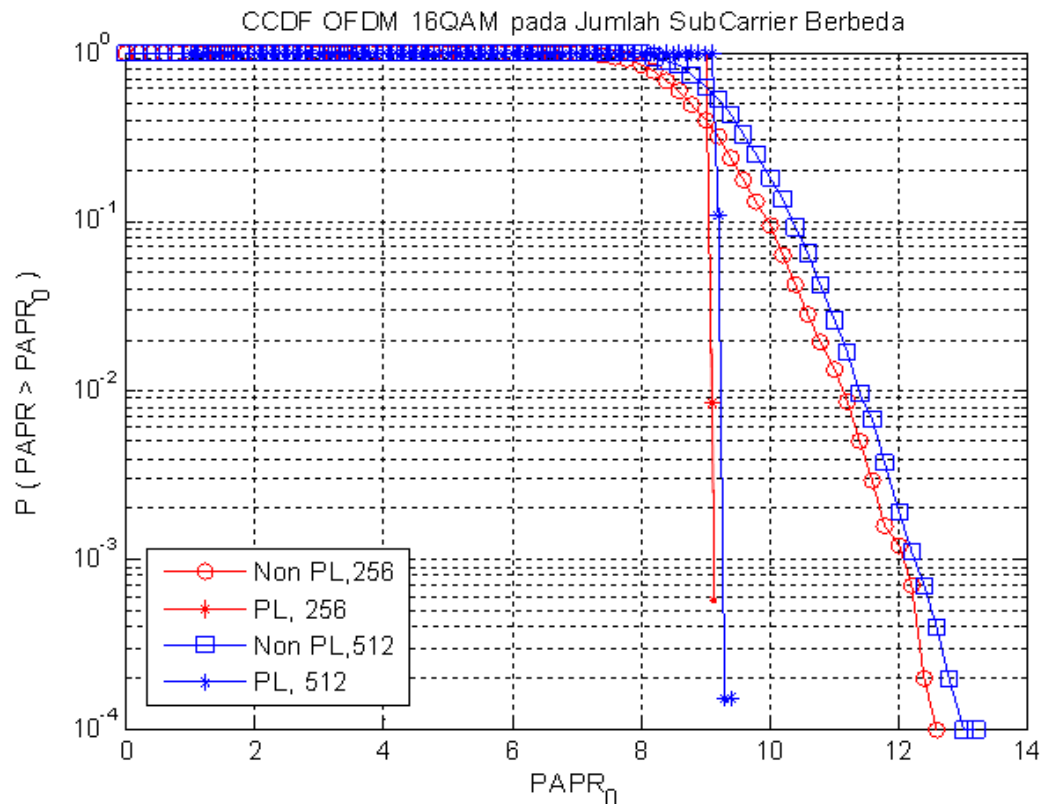
Pada gambar diatas terlihat bahwa sinyal OFDM akan memiliki nilai PAPR yang besarnya bervariasi dan bersifat random. Pada modulasi QPSK, sistem OFDM menggunakan 256 *sub-carrier* memiliki nilai PAPR yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem OFDM yang menggunakan 512 *sub-carrier*. Adapun untuk tiap 10^3 pengiriman, maka nilai PAPR maksimum untuk QPSK dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Nilai PAPR maksimum dalam 10^{-3} percobaan untuk QPSK

Sistem OFDM	N	PAPR (dB)	PAPR	G_s (dB) $= 2(\text{PAPR}_a - \text{PAPR}_b)$
a. Non Power Loading	256	11.95	15.67	0 dB
	512	12.25	16.78	0 dB
b. Power Loading	256	9.2	8.31	11.68 dB
	512	10	10	11.32 dB

Tabel diatas menunjukkan bahwa sistem OFDM *power loading* memiliki nilai PAPR yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem OFDM non *power loading*. Hal ini diperlihatkan oleh parameter *gain saving* (G_s) yang merupakan selisih daya yang diperlukan *amplifier* untuk masing-masing sistem dengan modulasi berbeda terhadap daya sistem OFDM tanpa adanya *power loading*^[19].

Fixed Modulasi 16-QAM



Gambar 11. Grafik CCDF sinyal OFDM [$N=256, 512$, modulasi 16-QAM]

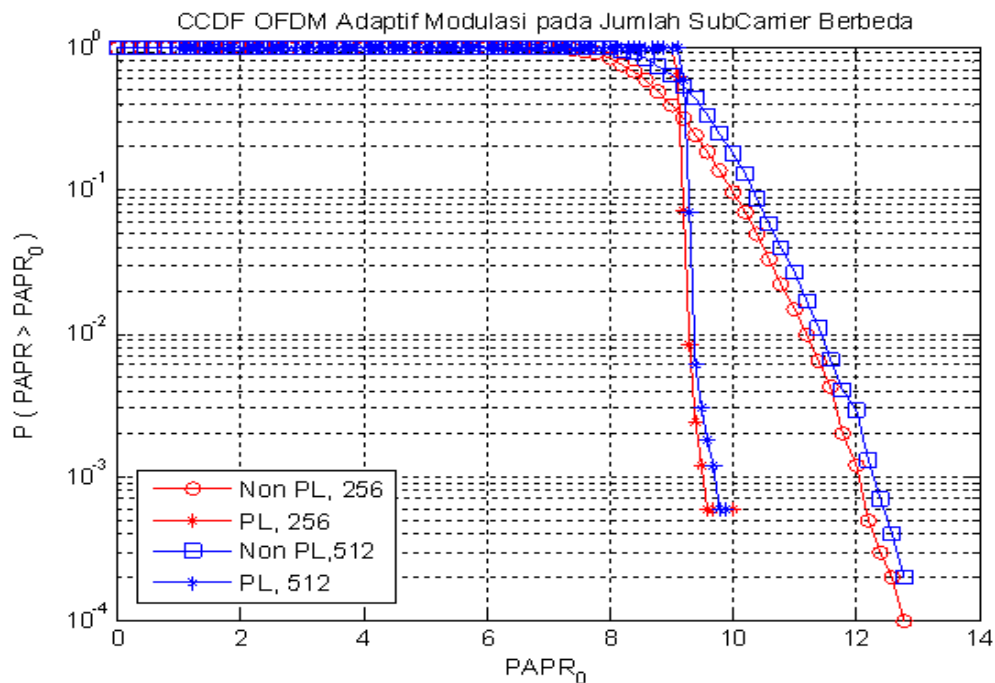
Pada modulasi 16-QAM, sistem OFDM dengan 256 *sub-carrier* memiliki nilai PAPR yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem OFDM yang menggunakan 512 *sub-carrier*.

Tabel 4. Nilai PAPR maksimum dalam 10^{-3} percobaan untuk 16-QAM

Sistem OFDM	N	PAPR (dB)	PAPR	G_s (dB) $= 2(\text{PAPR}_a - \text{PAPR}_b)$
a. Non Power Loading	256	12.05	16.03	0 dB
	512	12.25	16.78	0 dB
b. Power Loading	256	9.2	8.31	11.88 dB
	512	9.45	8.81	12.02 dB

Tabel diatas menunjukkan bahwa sistem OFDM *power loading* memiliki nilai PAPR yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem OFDM non *power loading*. Untuk mendapatkan daya keluaran dan distorsi *amplifier* yang sama, maka sistem OFDM *power loading* memerlukan daya *amplifier* sebesar 11.88 dB lebih rendah pada *sub-carrier* sejumlah 256 dan sebesar 12.02 dB lebih rendah pada *sub-carrier* sejumlah 512.

Adaptif Modulasi Menggunakan QPSK dan 16-QAM



Gambar 12. Grafik CCDF sinyal OFDM [$N=256, 512$, modulasi adaptif]

Pada modulasi adaptif, sistem OFDM menggunakan 256 *sub-carrier* memiliki nilai PAPR yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem OFDM yang menggunakan 512 *sub-carrier*.

Tabel 5. Nilai PAPR maksimum dalam 10^{-3} percobaan untuk modulasi adaptif

Sistem OFDM	N	PAPR (dB)	PAPR	G_s (dB) $= 2(\text{PAPR}_a - \text{PAPR}_b)$
a. Non Power Loading	256	12.02	15.92	0 dB
	512	12.2	16.6	0 dB
b. Power Loading	256	9.5	8.91	11.46 dB
	512	9.75	9.44	11.56 dB

Dari data di atas diketahui bahwa penggunaan *power loading* akan memperkecil nilai PAPR karena proses pengalokasian bit dan *power* yang terjadi pada tiap *sub-carrier* dapat menghindari adanya *peak* sinyal yang dapat melewati daerah linear *amplifier*. Kesimpulan dan Saran

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Power loading* memperbaiki BER sistem. Semakin tinggi orde modulasi, maka performansi akan semakin baik seiring dengan semakin besarnya *coding gain* yang diberikan.
2. Skema modulasi adaptif OFDM *power loading* dinilai kurang efektif karena performansinya tidak lebih baik dari performansi 16-QAM dan *coding gain* yang diberikan tidak lebih besar dari 64-QAM.
3. Semakin tinggi frekuensi *doppler*, performansi sistem OFDM *power loading* akan semakin menurun..
4. *Power loading* memperkecil nilai PAPR karena dapat menghindari adanya *peak* sinyal yang melewati daerah linear *amplifier*. Alokasi bit dan *power* pada *power loading* lebih berpengaruh terhadap proses deteksi dan demodulasi simbol.

Daftar Pustaka

- [1] Chang, Ren-Yu, "OFDM for Mobile Data Communication", Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University. Taiwan. 2003.
- [2] Bansal, Prateek, A. Brzezinski, "Adaptive Loading in MIMO/OFDM Systems", Stanford University, England, 2001.
- [3] J. Wojtiuk, Jeffrey, "Analysis of Frequency Conversion for M-QAM and M-PSK Modems", Thesis, The University of South Australia School of Electronic Engineering, Australia, 1995.
- [4] Rodrigues, Miguel, "Orthogonal Frequency Orthogonal Frequency Division Multiplexing Division Multiplexing (OFDM)", Laboratory for Communication Engineering, Department of Engineering, University of Cambridge, Australia.
- [5] J. Love, David, Robert W. Heath, "OFDM Power Loading Using Limited Feedback", IEEE journal on selected areas in communications, VOL. 54, NO. 5, September, 2005.
- [6] Qaddour, Jihad, "High Peak to Average Ratio Solution in OFDM of 4G Mobile Systems", School of Information Technology, Illinois State University, USA, 2006.
- [7] Schurgers, Curt, Mani B. Srivastava, "A Systematic Approach to Peak-to-Average Power Ratio in OFDM", Electrical Engineering Department, University of California at Los Angeles (UCLA), USA, 2006.

- [8] Li Lin, Yu, "*Performance Analysis in the PAPR of OFDM System via SLM Scheme*", Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University. Taiwan. 2003
- [9] Schurgers, Curt, Mani B. Srivastava, "*Impact of PAPR reduction mechanism on Bit and Power Loading Strategies for OFDM based Wireless Systems*", Radio Access Technology (RATE) Section, Department of Electronic Systems, Aalborg University, 2005.
- [10] Lawrey, E. Phillip, "*Adaptive Techniques for Multiuser OFDM*", Electrical and Computer Engineering School of Engineering, James Cook University , 2001.
- [11] Prasetya, Budi, "*Peningkatan Kinerja Sistem Komunikasi dengan: MIMO, OFDM dan Beamforming*", Kuliah Kapita Selekt, STT Telkom, Bandung, 2006.
- [12] Arslan, Huseyin, "*Adaptation techniques and enabling parameter estimation algorithms for the evolution of wireless mobile radio systems*", Department of Electrical Engineering, University of South Florida, USA, 2003.