

Analisis Kinerja Jenis Modulasi pada Sistem SC-FDMA

Fitri Amillia¹, Mulyono², Jumarwan³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: ¹fitriamillia@uin-suska.ac.id

(Received: 16 Desember 2016; Revised: 30 Desember 2016; Accepted: 30 Desember 2016)

ABSTRAK

Teknologi *Long Term Evolution (LTE)* menggunakan multiple akses disisi uplink yaitu *SC-FDMA* menggunakan *single carrier* dalam mengirimkan data dan memiliki nilai *PAPR* yang kecil. Modulasi yang digunakan pada *SCFDMA* adalah *QPSK*, *16-QAM* dan *64-QAM*. Penelitian ini untuk menganalisis kinerja jenis modulasi dengan cara membandingkan modulasi yang digunakan pada sistem komunikasi *SC-FDMA*. Hasilnya kinerja sistem melewati kanal AWGN pada modulasi *QPSK* lebih baik dibandingkan dengan modulasi *16-QAM* dan modulasi *64-QAM* pada BER 10^{-4} sedangkan pada kanal *rayleigh fading*, modulasi *QPSK* memiliki kinerja sistem lebih baik dibandingkan *16-QAM* dan modulasi *64-QAM* pada BER 10^{-3} . Nilai *PAPR* pada kanal AWGN modulasi *QPSK* lebih baik dibandingkan dengan *16-QAM* dan *64-QAM* dengan nilai 0 dB, sedangkan kanal *rayleigh fading*, modulasi *QPSK* lebih baik dibandingkan dengan *16-QAM* dan *64-QAM* dengan nilai 0 dB.

Kata Kunci : AWGN, QPSK, QAM, *Rayleigh Fading*, *SC-FDMA*

ABSTRACT

Technology Long Term Evolution (LTE) using multiple accesses that is SC-FDMA uplink using a single carrier in transmitting data and have a small PAPR value. The modulation used in SCFDMA is QPSK, 16-QAM and 64-QAM. This study was conducted to analyze performance of several of modulation technique by comparing them used in SC-FDMA communication systems. The result is the performance of the system pass through AWGN channel modulation QPSK modulation is better than the 16-QAM and 64-QAM modulation with BER of 10^{-4} while in Rayleigh fading channels; the QPSK modulation system has better performance than 16-QAM and 64-QAM modulation with BER 10^{-3} . PAPR value in AWGN channel modulation QPSK is better than the 16-QAM and 64-QAM with a value of 0 dB, whereas Rayleigh fading channels, the QPSK modulation is better than the 16-QAM and 64-QAM with a value of 0 dB.

Keywords: AWGN, QPSK, QAM, *Rayleigh fading*, *SC-FDMA*

Corresponding Author:

Fitri Amilia

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Email: fitriamillia@uin-suska.ac.id

Pendahuluan

Teknologi *Long Term Evolution (LTE)* menggunakan dua multiple akses yaitu OFDMA dan SCFDMA. Untuk Transmisi pada *Long Term Evolution* menggunakan teknologi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *downlink* dan *SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)* pada sisi *uplink*. 3GPP telah menetapkan standar modulasi yang digunakan oleh LTE pada sistem SCFDMA

adalah modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. *SC-FDMA* merupakan teknik komunikasi menggunakan *single carrier*. Perbedaan dari kedua sistem komunikasi ini adalah pada sistem komunikasi *SC-FDMA* ditambahkan operasi *FFT di transmitternya* dan *IFFT di receivernya*. Kelebihan dari sistem komunikasi *SC-FDMA* adalah mempunyai nilai *Power Average Power Ratio (PAPR)* yang kecil dibandingkan dengan sistem komunikasi *OFDM* sehingga dapat menghemat

daya dari *User Equipment*. (Hyung G. Myung, dkk 2008).

Berdasarkan penelitian yang berjudul *single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission*. Pada sistem *SCFDMA* terdapat *subcarrier mapping* yang terbagi menjadi dua yaitu *Localized Mode Frequency Division Multiple Access (LFDMA)* dan *Interleave Frequency Division Multiple Access (IFDMA)*. Kemudian kedua macam *subcarrier mapping* tersebut dibandingkan dan dianalisis dengan menggunakan parameter *throughput* dan *PAPR*. Penelitian ini menggunakan dua modulasi yaitu modulasi *QPSK* dan *16-QAM* dengan menggunakan *Channel dependent Scheduling (CDS)*. Hasil dari penelitian ini adalah *IFDMA* menghasilkan *throughput* dan *PAPR* lebih baik dibandingkan *LFDMA* dengan menggunakan modulasi *16-QAM*. (Hyung G. Myung, 2006)

Berdasarkan penelitian terkait berikutnya berjudul tentang Pemodelan Dan Evaluasi Sistem Komunikasi *SCFDMA* Pada Kanal *Rayleigh Fading* Sebagai Metode Untuk Reduksi *PAPR* Pada Transmisi. Penelitian ini membandingkan sistem komunikasi *SC-FDMA* dengan *OFDM* dengan menggunakan parameter *PAPR* dan *BER*. Modulasi yang digunakan *16-QAM* melalui kanal *AWGN* dan kanal *SUI-3*. Hasilnya sistem komunikasi *SC-FDMA* memiliki nilai *PAPR* yakni 2,5009 dB lebih rendah dibandingkan nilai *PAPR* pada sistem *OFDM* yaitu 12,6784 dB. (Fery Hermawan Effendi, 2012).

Dengan demikian, perlu dikembangkan penelitian berdasarkan penelitian terkait sebelumnya yaitu mengamati dan menganalisis kinerja sistem pengaruh penggunaan modulasi *QPSK*, *16-QAM* dan *64-QAM* pada sistem komunikasi *SCFDMA* dengan melewati kanal *AWGN* dan kanal *Rayleigh Fading* dengan parameter *BER* dan *PAPR*.

Tinjauan pustaka untuk penelitian ini sebagai berikut :

a. Single carrier Frequency Division Multiple Acces (SC-FDMA)

Long Term Evolution menggunakan sistem komunikasi *SC-FDMA* pada sisi uplink yakni dari *User Equipment (UE)* ke *Evolvod Node B (eNodeB)*. Salah satu alasan dipilihnya teknologi *SCFDMA* pada sisi *uplink LTE* karena mempunyai nilai *Peak Average Power Ratio (PAPR)* yang kecil dibandingkan dengan *SCFDMA*. Hal ini dikarenakan sistem transmisi *SCFDMA* memiliki durasi waktu yang lebih singkat dengan lebar *sub-carrier* yang lebih besar dibandingkan *SCFDMA* sehingga apabila terkena *noise* maka variasi daya yang terjadi antara carrier-nya tidak terlalu besar (Hyung G. Myung, dkk 2008).

b. Modulasi

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi terhadap sinyal pembawa. Pada penelitian ini modulasi yang digunakan adalah modulasi *QPSK*, *16-QAM* dan *64-QAM*.

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)* merupakan modulasi yang sama dengan *BPSK*, tetapi pada *QPSK* terdapat empat buah level sinyal, yang merepresentasikan empat kode *binary*, yaitu '00', '01', '11', '10'. Masing-masing level sinyal disimbolkan dengan perbedaan fasa 90^0 .

Pada modulasi *16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)*. *16-QAM* 1 simbol berisi 4 bit informasi. Pada setiap bit mewakili 2 bit simbol yang dibentuk dari sinyal *I* dan *Q*. jarak hamming antara dua titik yang berdekatan harus satu. Misalnya titik 0000 dan 0100 memiliki jarak hamming 1. Ini merupakan dasar *kode Gray* sehingga salah satu simbol rusak dikarenakan *noise* akan dideteksi ke titik konstelasi bersebelahan, demodulator dapat meminimalisir peluang *error* (Fery Efendi Hermawan, dkk 2012).

Pada modulasi *64-Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM)* termasuk kategori high order modulasi karena *64-QAM* terdiri dari 64 simbol dimana setiap simbol terdiri dari 6 bit. *64 QAM* digunakan pada saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima cukup baik (nilai *SNR* tinggi). Kekurangannya yaitu rentan terhadap kesalahan karena *64 QAM* sangat sensitive terhadap *noise*, interferensi dan kesalahan estimasi kanal (Uke Kurniawan Usman, dkk 2012).

c. Kanal AWGN

Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan *noise* yang timbul karena akumulasi *noise termal* dari perangkat pemancar, kanal transmisi, dan perangkat penerima. *Noise* menyertai sinyal pada sisi penerima dapat didekati dengan model matematis *statistic AWGN*. *Noise AWGN* adalah *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* mana pun, memiliki sifat-sifat *additive*, *white* dan *Gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *Gaussian* artinya besar tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi (Bernard Sklar, 2008).

AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi. Jika sinyal yang kirim $S_{TX}(t)$, pada kanal akan dipengaruhi oleh *noise* $n(t)$ sehingga sinyal yang diterima menjadi:

$$S_{RX}(t) = S_{TX}(t) + n(t), 0 \leq t \leq T$$

d. Kanal Rayleigh Fading

Perambatan sinyal antara pemancar dan penerima yang berbeda-beda tersebut

mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi. Sinyal yang diterima oleh *receiver* yang melewati suatu kanal *multipath* merupakan jumlah dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat banyak lintasan (*multipath*). Pada kanal *multipath* mempunyai *respon impuls* yang bervariasi.

Rayleigh fading dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$h = h_{re} + h_{im}$$

Hasil sinyal pada *receiver* setelah melewati kanal tersebut dapat dipresentasikan seperti dibawah ini

$$y = hx + n$$

y = sinyal yang diterima

h = *Respon Impuls rayleigh multipath fading*

x = sinyal terkirim

n = *noise AWGN*

e. *PAPR* (Peak Average to Power Ratio)

PAPR didefinisikan sebagai rasio atau perbandingan antara daya puncak maksimum terhadap daya puncak rata-rata sinyal. *PAPR* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq T_s} |s(t)|^2}{\text{mean}_{0 \leq t \leq T_s} |s(t)|^2}$$

Dengan s(t) adalah *symbol carrier* dengan interval $0 \leq t \leq T_s$. Dengan demikian berarti *PAPR* dianalisa persimbol *SCFDMA*. Kerugian yang ditimbulkan oleh tingginya *PAPR* antara lain:

- 1) *Intermodulation* diantara *subcarrier*.
- 2) Besarnya penggunaan *bandwidth*.
- 3) Pemotongan puncak atau *clipping*.

Standar nilai *Power Average to power Ratio* yang terdapat pada sistem *SCFDMA* adalah 10^{-3} (Abdul Samad Shaikh, dkk 2010).

f. *Bit Error Rate*

Dalam penelitian ini digunakan *metode Monte Carlo* dan dilakukan 10 kali perulangan. Metode simulasi *Monte Carlo* merupakan metode simulasi estimasi *BER* yang relative sederhana, tetapi memerlukan waktu *running* yang relative lama karena untuk mengambil nilai *BER* perlu dilakukan perulangan. maka *BER* dapat dihitung dengan mdah, dengan rata-rata sampel:

$$BER = \frac{n}{N}$$

Dimana

n = jumlah bit yang salah.

N = jumlah bit yang dikirimkan

Standar nilai *Bit Error Rate* yang terdapat pada sistem komunikasi *SC-FDMA* adalah 10^{-3} (Abdul Samad Shaikh, dkk 2010).

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dengan melalui proses :

a. Simulasi Model

Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software MATLAB 2013a* dan modulasi yang akan disimulasikan adalah *QPSK*, *16-QAM* dan *64-QAM*. Ketiga modulasi ini akan disimulasikan pada kondisi kanal yang berbeda, kanal yang digunakan adalah kanal *AWGN* dan kanal *Rayleigh Fading*. Setelah simulasi dilakukan langkah selanjutnya yaitu memvisualisasikan grafik 2D berdasarkan nilai parameter yang diukur yaitu *Bit Error Rate (BER)* dan *Power Average Power Ratio (PAPR)*.

b. Parameter simulasi sistem *SCFDMA*

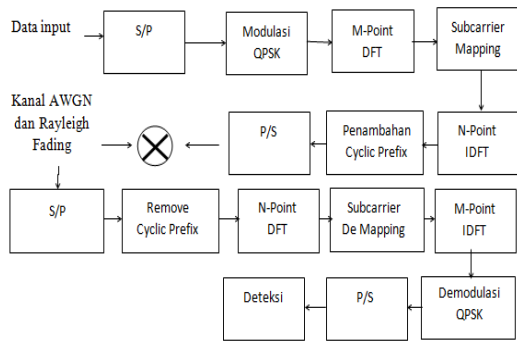
Pada sistem *SCFDMA* digunakan beberapa asumsi dan parameter yaitu:

- 1) Simulasi dilakukan dalam model *baseband equivalent*
- 2) Input data biner yang dibangkitkan sebanyak 100000 bit
- 3) Modulasi yang digunakan adalah *QPSK*, *16-QAM* dan *64-QAM*
- 4) Jumlah *M-Point IDFT* dan *N-Point DFT* pada sistem *SCFDMA* adalah 512 titik
- 5) Menggunakan guard interval dengan cyclic prefix 20
- 6) Pada kondisi pertama sistem *SCFDMA* modulasi *QPSK* dilewatkan dengan kanal *AWGN*
- 7) Pada kondisi kedua sistem *SCFDMA* modulasi *16-QAM* dilewatkan dengan kanal *AWGN*
- 8) Pada kondisi ketiga sistem *SCFDMA* modulasi *64-QAM* dilewatkan dengan kanal *AWGN*
- 9) Pada kondisi keempat sistem *SCFDMA* modulasi *QPSK* dilewatkan dengan kanal *Rayleigh Fading*
- 10) Pada kondisi kelima sistem *SCFDMA* modulasi *16-QAM* dilewatkan dengan kanal *Rayleigh Fading*
- 11) Pada kondisi keenam sistem *SCFDMA* modulasi *64-QAM* dilewatkan dengan kanal *Rayleigh Fading*
- 12) Model kanal *Multipath* yang digunakan yaitu *Rayleigh Fading* untuk kondisi perkotaan
- 13) Pada sistem *SCFDMA* ini, transmitter dan receiver diasumsikan berada dalam keadaan tetap (fixed)
- 14) Input berupa *SNR* yang akan divariasikan dari 0 dB hingga 30 dB.
- 15) Perhitungan *BER* menggunakan metode *monte carlo*

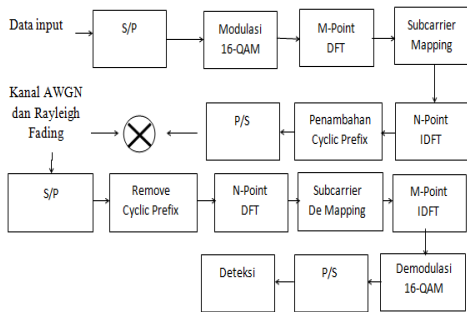
c. Pemodelan sistem

Pada sistem *SCFDMA* terdapat tiga komponen utama yaitu blok pengirim, kanal transmisi dan blok penerima. Secara umum sistem *SCFDMA* dan *OFDM* memiliki kesamaan, akan tetapi yang membedakan adalah adanya penambahan blok *IFFT* di *transmitter* dan blok

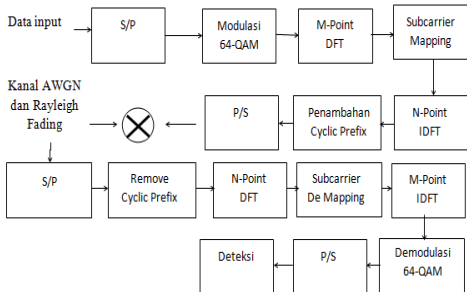
IFFT pada *receiver* sistem SCFDMA ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.



Gambar 2. Blok diagram SCFDMA menggunakan modulasi QPSK



Gambar 3. Blok diagram SCFDMA menggunakan modulasi 16-QAM



Gambar 4. Blok diagram SCFDMA menggunakan modulasi 64-QAM

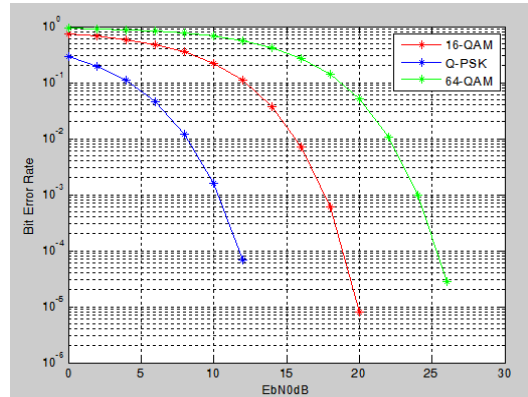
Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi maka akan diperoleh hasil yang dapat dianalisis kinerja sistemnya.

a. Hasil Kinerja BER Pada Sistem SCFDMA Pada Kanal AWGN

Pada gambar 5 dibawah ini dapat dilihat bahwa kinerja modulasi pada sistem SCFDMA untuk kanal AWGN. Pada modulasi QPSK mempunyai nilai BER 10^{-4} dengan nilai Eb/No yaitu 12 dB. Pada modulasi 16-QAM memiliki nilai BER 10^{-5} dengan nilai Eb/No yaitu 20 dB dan untuk

modulasi 64-QAM memiliki nilai 10^{-4} dengan nilai Eb/No yaitu 26 dB.

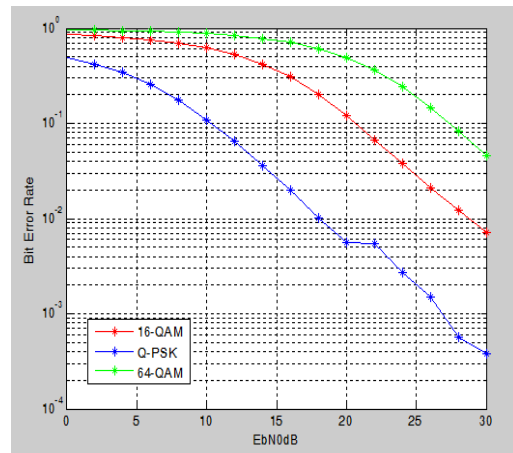


Gambar 5. Hasil modulasi melalui kanal AWGN pada sistem SCFDMA

Pada gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa kinerja modulasi pada sistem SCFDMA melalui kanal AWGN untuk modulasi QPSK lebih baik dibandingkan dengan modulasi 16-QAM dan modulasi 64-QAM. Hal ini disebabkan pada teori titik konstelasi modulasi yang mengatakan bahwa semakin kecil titik konstelasi pada modulasi maka semakin baik kinerja jaringan dari sistem SCFDMA, akan tetapi modulasi tersebut memiliki bit rate yang kecil.

b. Hasil Kinerja BER Pada Sistem SCFDMA Pada Kanal Rayleigh Fading

Pada gambar 6 dibawah ini dapat dilihat bahwa kinerja modulasi pada sistem SCFDMA untuk kanal Rayleigh Fading. Pada modulasi QPSK mempunyai nilai BER 10^{-3} dengan nilai Eb/No adalah 30 dB. Pada modulasi 16-QAM memiliki nilai BER 10^{-2} dengan nilai Eb/No adalah 30 dB dan untuk modulasi 64-QAM memiliki nilai BER 10^{-1} dengan nilai Eb/No adalah 30 dB.



Gambar 6. Hasil Modulasi melalui kanal Rayleigh Fading pada sistem SCFDMA

Dari gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa kinerja modulasi pada sistem SCFDMA melalui kanal *Rayleigh Fading* untuk modulasi QPSK lebih baik dibandingkan dengan modulasi 16-QAM dan modulasi 64-QAM. Hal ini disebabkan pada teori titik konstelasi modulasi yang mengatakan bahwa semakin kecil titik konstelasi pada modulasi maka semakin baik kinerja jaringan dari sistem SCFDMA tersebut, akan tetapi modulasi tersebut memiliki bit rate yang kecil.

c. Hasil Kinerja PAPR Pada Kanal AWGN

Tabel 1. Hasil PAPR masing-masing modulasi pada kanal AWGN

Modulasi	Daya Puncak	Daya Rata-rata	Nilai PAPR (dB)
Q-PSK	0.0313	0.0313	0
16-QAM	0.0419	0.0351	0.7722
64-QAM	0.0415	0.0271	1.8561

Pada tabel 1 diatas menunjukkan kanal AWGN terlihat bahwa modulasi QPSK memiliki nilai PAPR sebesar 0 dB. Pada modulasi 16-QAM memiliki nilai PAPR 0,7722 dB dan modulasi 64-QAM memiliki nilai PAPR 1,8561 dB, dengan demikian hasil kinerja nilai PAPR modulasi QPSK lebih baik dibandingkan modulasi 16-QAM dan 64-QAM dapat menghemat daya dari *User Equipment*.

d. Hasil Kinerja PAPR Pada Kanal Rayleigh Fading

Tabel 2. Hasil PAPR masing-masing modulasi pada kanal *Rayleigh Fading*

Modulasi	Daya Puncak	Daya Rata-rata	Nilai PAPR (dB)
Q-PSK	0.0313	0.0313	0
16-QAM	0.0419	0.0327	1.0818
64-QAM	0.0477	0.0284	-15.4678

Pada tabel 2 diatas menunjukkan kanal *Rayleigh Fading* terlihat bahwa modulasi QPSK memiliki nilai PAPR sebesar 0 dB. Pada modulasi 16-QAM memiliki nilai PAPR 1.0818 dB dan modulasi 64-QAM memiliki nilai PAPR -15,4678 dB. dengan demikian hasil kinerja nilai PAPR modulasi QPSK lebih baik dibandingkan modulasi 16-QAM dan 64-QAM dapat menghemat daya dari *User Equipment*.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan bahwa kinerja antara modulasi *Q-PSK*, *16-QAM* dan *64-QAM* melewati kanal AWGN dan kanal *Rayleigh Fading* maka dapat disimpulkan :

1. Pada kanal AWGN, kinerja modulasi QPSK lebih baik dengan nilai BER 10^{-4} dengan nilai

EbN0 12 dB dibandingkan kinerja modulasi *16-QAM* mempunyai nilai BER 10^{-5} dengan EbN0 20 dB dan kinerja modulasi *64-QAM* mempunyai nilai BER 10^{-4} dengan EbN0 26 dB.

2. Pada kanal *Rayleigh fading*, kinerja modulasi *QPSK* lebih baik mempunyai BER 10^{-3} dengan EbN0 30 dB dibandingkan kinerja modulasi *16-QAM* mempunyai BER 10^{-2} dengan EbN0 30 dB dan kinerja modulasi *64-QAM* mempunyai BER 10^{-1} dengan EbN0 30 dB.
3. Pada kanal AWGN, kinerja modulasi *QPSK* lebih baik dengan nilai PAPR 0 dB dibandingkan dengan modulasi *16-QAM* dengan nilai PAPR 0.7722 dB dan modulasi *64-QAM* dengan nilai PAPR 1.8561 dB.
4. Pada kanal *Rayleigh fading*, kinerja modulasi *QPSK* lebih baik dengan nilai PAPR 0 dB dibandingkan dengan modulasi *16-QAM* dengan nilai PAPR 1.0818 dB dan modulasi *64-QAM* dengan nilai PAPR -15.4678 dB.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pemodelan SCFDMA dengan menggunakan kanal lain dan menambah *equalizer* pada sisi *receiver*.

Daftar Pustaka

- [1] Myung, Hyung G and David J.Goodman.2008. Single-Carrier Fdma : A New Air Inteface For Long Term Evolution. 1st Edition.Wiley Series On Wireless Communication And Mobile Computing.
- [2] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman.2006. Single Carrier Fdma For Uplink Wireless Transmission. vol. 1, no. 3, sept. IEEE Vehnicular Technology Mag.
- [3] Sklar, Bernard. 2001. Digital Communication : Fundamentals And Aplications. 2nd edition. Prentice Hall International Inc.
- [4] Efendi Hermawan, Fery. 2012. Pemodelan Dan Evaluasi Sistem Komunikasi Scfdma Pada Kanal Rayleigh Fading Sebagai Metode Untuk Reduksi Papr Pada Transmisi Uplink LTE. Laporan skripsi Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [5] Kurniawan Usman, Uke, dkk. 2012. Fundamental Teknologi Selluler Long Term Evolution (LTE). Bandung: Rekayasa Sains.
- [6] Shaikh, Abdul Samad and Khatri Chandan Kumar. 2010. Performance Evaluation of LTE Physycal layer using SCFDMA dan OFDMA. Thesis is presented as part of Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Blekinge Institute of Technology.