



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

KODE  
PJ-01

**PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA** : INGE VESTIKA SARI  
**NIM** : 0810630064 - 63  
**PROGRAM STUDI** : TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
**JUDUL SKRIPSI** : *ANALISIS PEAK TO AVERAGE POWER RATIO (PAPR) SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA) PADA LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

Pembimbing 1

Pembimbing 2

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

**Ali Mustofa, ST., MT.**  
**NIP. 19710601 200003 1 001**

***ANALISIS PEAK TO AVERAGE POWER RATIO (PAPR) SINGLE  
CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)  
PADA LONG TERM EVOLUTION (LTE)***

**Publikasi Jurnal Skripsi**



Disusun Oleh :

**INGE VESTIKA SARI**

**NIM : 0810630064-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

# ANALISIS PEAK TO AVERAGE POWER RATIO (PAPR) SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA) PADA LONG TERM EVOLUTION (LTE)

Inge Vestika Sari,<sup>1</sup> Rudy Yuwono, ST., M.Sc.<sup>2</sup>, Ali Mustofa, ST., MT.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, <sup>2</sup>Dosen teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: [ingevestika@gmail.com](mailto:ingevestika@gmail.com)

**Abstrak** - *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) merupakan bentuk modifikasi dari pendahulunya yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). SC-FDMA mewarisi kelebihan-kelebihan yang dimiliki OFDMA, namun SC-FDMA memiliki suatu kelebihan yang tidak dimiliki oleh OFDMA yaitu nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih rendah. *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) adalah suatu performansi yang digunakan untuk menentukan indikasi efisiensi daya dari suatu *transmitter*. Semakin rendah nilai PAPR maka efisiensi daya yang dihasilkan adalah semakin tinggi.

Analisis yang dilakukan adalah perbandingan nilai PAPR pada sistem SC-FDMA, yang mana pada SC-FDMA terdapat tiga metode pemetaan *subcarrier* yaitu, *Interleaved-FDMA*, *Distributed-FDMA*, dan *Localized-FDMA*. Simulasi dilakukan pada ketiga jenis pemetaan *subcarrier* pada SC-FDMA. Dari hasil simulasi matematis didapatkan hasil bahwa pada *Interleaved-FDMA* memiliki nilai PAPR yang paling rendah jika dibandingkan dengan *Localized-FDMA* dan *Distributed-FDMA*. Jika dibandingkan dengan PAPR yang menggunakan *pulse shaping*, pada saat diaplikasikan *raised cosine filter*, nilai PAPR IFDMA tanpa penggunaan *pulse shaping* adalah sebesar 0 dB untuk teknik modulasi QPSK, 3.718 dB untuk 16-QAM, dan 4.897 dB untuk 64-QAM. Sedangkan saat diaplikasikan *root raised cosine filter*, nilai PAPR IFDMA tanpa penggunaan *pulse shaping* adalah sebesar 0 dB untuk teknik modulasi QPSK, 3.792 dB untuk 16-QAM, dan 4.916 dB untuk 64-QAM.

**Kata Kunci** - *Distributed-FDMA*, *Interleaved-FDMA*, *Localized-FDMA*, *Peak to Average Power Ratio* (PAPR), *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA).

## I. PENDAHULUAN

Kecepatan data yang tinggi dan jaminan kelancaran komunikasi data telah menjadi kebutuhan tak terelakkan dari setiap pengguna ponsel. Teknologi 3G memberikan kecepatan data yang lebih besar dan jaringan yang lebih aman dibandingkan dengan pendahulunya 2G atau 2.5G. Tingkat bit tertinggi dalam sistem nirkabel komersial yang ada saat ini dicapai dengan menggunakan

teknik *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA).

Namun OFDMA memiliki kekurangan yaitu besarnya nilai PAPR (*Peak to Average Power Ratio*). Pada LTE permasalahan ini diselesaikan dengan menggunakan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) di sisi *uplink*, karena memungkinkan efisiensi daya amplifier yang lebih baik.

SC-FDMA merupakan bentuk modifikasi dari OFDMA, namun memiliki kinerja *throughput* yang hampir sama dan pada dasarnya juga memiliki kompleksitas yang sama, tapi memiliki keunggulan jika dibandingkan OFDMA, yaitu memiliki PAPR yang lebih rendah.

SC-FDMA telah menjadi perhatian besar sebagai alternatif yang menarik untuk menggantikan OFDMA, terutama pada komunikasi *uplink* yang mana PAPR sangat diperhatikan pada sisi *mobile terminal* dalam hal efisiensi pengiriman daya.

Pada SC-FDMA terdapat beberapa teknik pemetaan *subcarrier* (*subcarrier mapping*), pemetaan *subcarrier* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis: *Localized Mapping* dan *Distributed Mapping*. Sebuah kasus khusus dari *distributed* SC-FDMA disebut *interleaved* SC-FDMA, di mana *subcarrier* yang ditempati memiliki jarak yang sama di semua *bandwidth*. [5]

Dengan rumusan masalah yaitu perbandingan *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) pada teknik *subcarrier mapping* LFDMA, DFDMA dan IFDMA menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM, serta dengan penggunaan *pulse shaping* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai PAPR.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) dari sistem *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) yang diterapkan pada kanal *uplink* LTE.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Long Term Evolution (LTE)

3GPP mendefinisikan *Long Term Evolution* (LTE) pada tahun 2004 untuk memastikan daya saingnya dengan teknologi seluler lainnya. LTE dibangun dengan dasar-dasar teknis dari sistem seluler 3GPP sebelumnya. Tujuan dari proyek 3GPP-LTE adalah untuk meningkatkan sistem UMTS-HSPA yang ada saat ini.

LTE menggunakan skema *asymmetric multiple access* pada *downlink* dan *uplink*. Skema *multiple access* yang digunakan pada *downlink* berdasarkan OFDMA, dan untuk *uplink* menggunakan SC-FDMA. Karena sifatnya yang *multi carrier*, OFDMA cocok digunakan untuk mencapai kecepatan data yang tinggi dalam *bandwidth* spektrum tinggi. Namun pada *uplink*, OFDMA murni menghasilkan PAPR yang tinggi pada sinyal, yang menyebabkan efisiensi daya yang rendah. Oleh karena itu LTE menggunakan SC-FDMA sebagai skema *multiple access* untuk *uplink*. SC-FDMA hampir mirip dengan OFDMA namun dengan daya yang lebih efisien.

### B. Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

*Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) adalah suatu teknik *multiple access* yang menggunakan beberapa *multicarrier* yang saling tegak lurus (*orthogonal*). SC-FDMA pada dasarnya merupakan bentuk modifikasi dari *Orthogonal-FDMA* (OFDMA), yaitu teknik *multiple access* untuk laju data *uplink* yang tinggi dalam sistem komunikasi seluler masa depan.

SC-FDMA pada dasarnya mempunyai performansi *throughput* dan kompleksitas yang hampir sama dengan OFDMA. Sama seperti OFDMA, sistem SC-FDMA membagi *bandwidth* transmisi menjadi beberapa *subcarrier*, dengan *subcarrier* yang *orthogonal* satu dengan lainnya untuk mengirimkan informasi. *Cyclic prefix* (CP) atau *guard interval* juga ditambahkan secara periodik pada saat pentransmisi sinyal untuk menghindari terjadinya *inter symbol interference* (ISI) dan penyederhanaan desain *receiver*. [1]

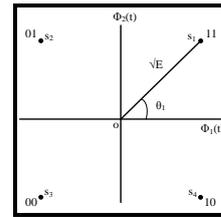
#### 1. Modulasi dan Teknik Modulasi Adaptif

Pada arah *uplink*, metode modulasi yang dapat tersedia (untuk data *user*) adalah *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-level Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM) dan *64-level Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM). QPSK memungkinkan efisiensi daya *transmitter* lebih baik ketika beroperasi pada daya transmisi penuh jika dibandingkan dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM.

Pada tiap-tiap *subcarrier* dapat menggunakan modulasi yang berbeda-beda, sistem yang menggunakan teknik modulasi sesuai dengan kualitas kanal disebut juga modulasi adaptif.

#### 2. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

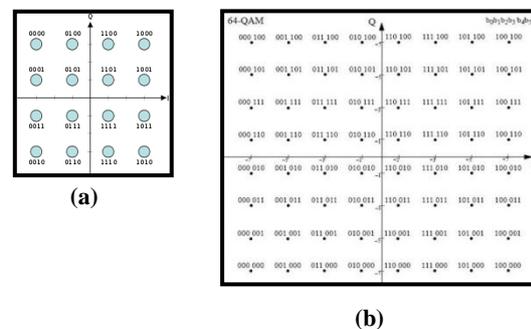
Pada QPSK, setiap konstelasi simbol merepresentasikan 2 bit biner (*dibit*) sehingga terdapat  $2^n = 4$  simbol yang ditransmisikan. Setiap simbol yang ditransmisikan merepresentasikan *dibit* 00, 01, 10, dan 11. Gambar 1. menunjukkan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK yang disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram*.



Gambar 1. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) constellation

#### 3. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

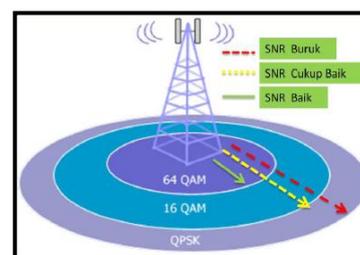
Pada QAM, amplitudo dan fasa sinyal *carrier* akan berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi, yang mengakibatkan sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran fasa. Modulasi QAM membawa data dengan merubah parameter dari sinyal *carrier* QAM yang berbeda fasa 90 derajat antara satu dengan yang lainnya dirubah untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan. Jenis modulasi QAM yang digunakan dalam teknologi LTE adalah 16-QAM dan 64-QAM.



Gambar 2. (a) Diagram Konstelasi 16 QAM; (b) Diagram Konstelasi 64 QAM

#### 4. Modulasi Adaptif

Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat itu. Misalkan, saat kondisi *link* radio baik, maka akan meningkatkan nilai SNR sehingga dapat digunakan teknik modulasi yang menghasilkan *bit rate* tertinggi dengan BER yang rendah. Saat *link* radio buruk akan menurunkan nilai SNR sehingga memaksa penggunaan teknik modulasi dengan *bit rate* yang lebih rendah untuk mempertahankan reabilitas *link*. Ketika kondisi *link* baik maka modulasi 64-QAM akan dipilih untuk digunakan daripada modulasi QPSK karena memiliki *bit rate* lebih tinggi.

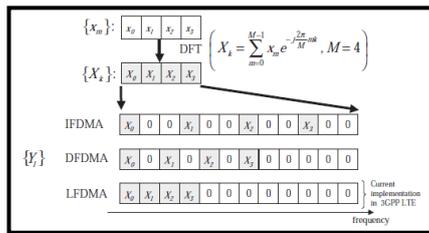


Gambar 3. Penggunaan Modulasi Adaptif pada Kondisi Link Radio yang Berbeda

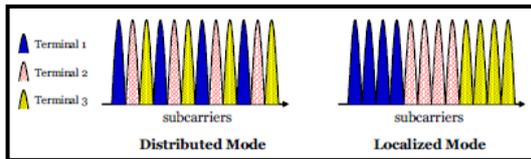
### 5. Subcarrier Mapping

Ada dua jenis pemetaan *subcarrier* dalam sistem SC-FDMA, *localized* (LFDMA) dan *distributed* (DFDMA). Pada LFDMA, modulasi simbol dipindahkan ke  $M$ -*subcarrier* yang berdekatan, sedangkan pada DFDMA simbol-simbol dipetakan ke *subcarrier* dengan jarak yang sama di seluruh kanal *bandwidth*. Pada kedua metode pengalokasian *subcarrier*, IDFT pada pemancar memberikan *zero amplitudes* pada  $N-M$  *subcarrier* yang tidak terpakai. *Interleaved* SC-FDMA (IFDMA) adalah kasus khusus dari DFDMA, dan sangat efisien karena pemancar dapat memodulasi sinyal dalam domain waktu tanpa penggunaan DFT dan IDFT. [5]

Gambar 4. Menggambarkan tiga contoh pengiriman simbol pada domain frekuensi pada SC-FDMA dengan  $M=4$  simbol/blok,  $N=12$  *subcarrier*,  $Q = \frac{N}{M} = 3$  terminal. Pada mode *localized*, empat modulasi simbol menempati *subcarrier* 0, 1, 2, dan 3;  $Y_0=X_0, Y_1=X_1, Y_2=X_2, Y_3=X_3$ , dan  $Y_i=0$  untuk  $i \neq 0, 1, 2, 3$ . Pada mode *distributed* dengan modulasi simbol berjarak yang sama disemua *subcarrier*,  $Y_0=X_0, Y_2=X_1, Y_4=X_2, Y_6=X_3$ , dan pada mode *interleaved*,  $Y_0=X_0, Y_3=X_1, Y_6=X_2, Y_9=X_3$ .



**Gambar 4.** Contoh Skema *Subcarrier Mapping* yang Berbeda untuk  $M=4, Q=3$  dan  $N=12$



**Gambar 5.** Metode Pengalokasian *Subcarrier* untuk Beberapa Pengguna (3 pengguna, 12 *subcarrier*, dan 4 *subcarrier* dialokasikan per pengguna)

### C. Peak to Average Power Ratio (PAPR)

*Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) adalah suatu performansi untuk menentukan indikasi efisiensi daya dari suatu pemancar. Pada kasus penguat daya linier ideal yang mana didapat penguatan linier sampai titik saturasi, efisiensi daya maksimum dicapai ketika *amplifier* bekerja pada titik saturasi. [5]

PAPR pada umumnya didefinisikan sebagai rasio perbandingan puncak daya sinyal pada waktu ( $t$ ) dengan rata-rata daya sinyal keseluruhan. PAPR dari suatu sinyal waktu kontinu  $x(t)$  dapat didefinisikan dengan persamaan berikut: (Hyung G. Myung, 2009)

$$PAPR = \frac{\text{daya puncak } x(t)}{\text{daya rata-rata } x(t)} \quad (1)$$

$$= \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{\frac{1}{NT} \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt}$$

$x(t)$  merupakan sinyal yang ditransmisikan dalam domain waktu,  $N$  adalah jumlah simbol,  $T$  adalah durasi simbol, dan  $NT$  merupakan durasi sinyal.

Dengan:

$$x(t) = e^{jw_c t} \sum_{n=0}^{N-1} x_n p(t - nT) a_n \quad (2)$$

$x(t)$  = sinyal kompleks *baseband* yang ditransmisikan pada SC-FDMA

$w_c$  = frekuensi *carrier*

$T = x_n$  = durasi simbol

$p(t)$  = pulsa *baseband*

Berikut ini adalah persamaan untuk domain waktu jika diterapkan pulsa *raised-cosine* (RC) dan *square-root raised-cosine* (RRC), yang sebagian besar digunakan untuk *pulse shape* pada telekomunikasi *wireless*.

$$P_{RC}(t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \alpha t}{T}\right)}{\frac{\pi t}{T} \cdot \left(1 - \frac{16\alpha^2 t^2}{T^2}\right)} \quad (3)$$

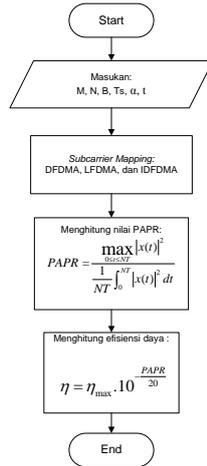
$$P_{RRC}(t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{T}(1-\alpha)\right) + 4\alpha \frac{t}{T} \cdot \cos\left(\frac{\pi t}{T}(1+\alpha)\right)}{\frac{\pi t}{T} \cdot \left(1 - \frac{16\alpha^2 t^2}{T^2}\right)} \quad (4)$$

Pada umumnya, PAPR yang rendah diinginkan untuk meningkatkan efisiensi *power amplifier*, atau dengan kata lain apabila daya yang dibutuhkan kecil.

### III. METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis terhadap *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada *Long Term Evolution* (LTE). Susunan langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hasil dari penelitian yaitu pengambilan data, perhitungan dan analisis data, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

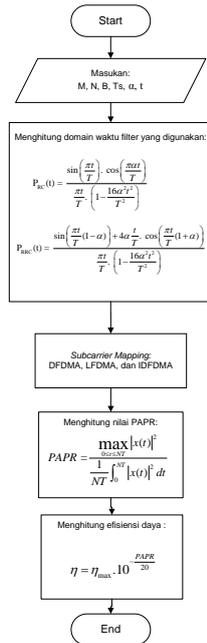
a) Menghitung PAPR tanpa *pulse shaping*



Dengan :

- M = Jumlah *Subcarrier*
- N = Jumlah blok data
- B = *Bandwidth* yang digunakan
- Ts = Kecepatan sampling sistem
- t = Durasi simbol
- $\eta_{maz}$  = Efisiensi daya maksimum

b) Menghitung PAPR dengan menerapkan *pulse shaping*



Dengan :

- M = Jumlah *Subcarrier*
- N = Jumlah blok data
- B = *Bandwidth* yang digunakan
- Ts = Kecepatan sampling sistem
- $\alpha$  = *Roll off factor*
- t = Durasi simbol
- $\eta_{maz}$  = Efisiensi daya maksimum

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV dilakukan analisis *Peak to Average Power Ratio (PAPR) Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada *Long Term Evolution*

(LTE) berdasarkan teori dan persamaan yang ada pada Bab II. Parameter yang diamati adalah PAPR SC-FDMA pada beberapa keadaan yang berbeda. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64QAM. Menggunakan teknik *pulse shaping*, dan penggunaan *roll of factor* yang bervariasi. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 7.13.0.564 (R2011b). Hasil yang diharapkan adalah dapat diketahui bagaimana pengaruh teknik *pulse shaping* dan besarnya *roll of factor* yang digunakan terhadap besarnya PAPR SC-FDMA.

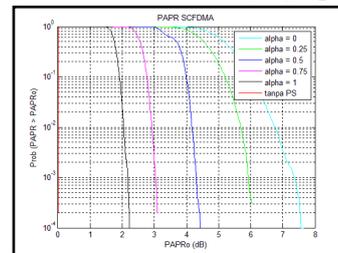
Parameter yang digunakan untuk menganalisis perbandingan nilai PAPR SC-FDMA ini adalah berdasarkan standar 3GPP *release* 8. Berikut ini adalah tabel parameter-parameter yang digunakan untuk simulasi dan perhitungan:

**Tabel 1.** Parameter-parameter yang digunakan pada simulasi

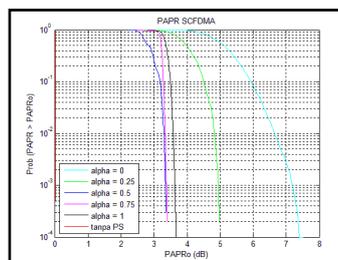
Parameter	Nilai
Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Jumlah <i>subcarrier</i>	512
Jumlah blok data	64
<i>Roll of factor</i> ( $\alpha$ )	0; 0.25; 0.5; 0.75; 1
<i>Bandwidth</i>	10 MHz

#### A. Analisis Perbandingan *Peak to Average Power Ratio (PAPR) Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* dengan menggunakan teknik modulasi *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

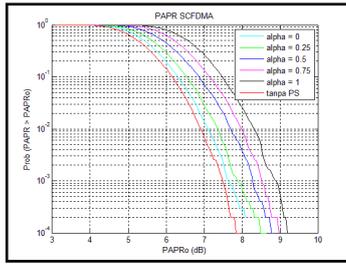
Berikut ini adalah hasil simulasi yang diperoleh:



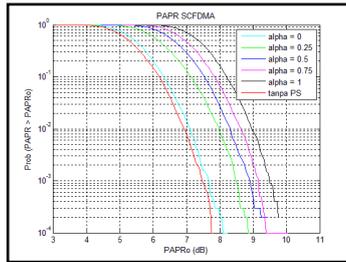
**Gambar 6.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *raised cosine* filter.



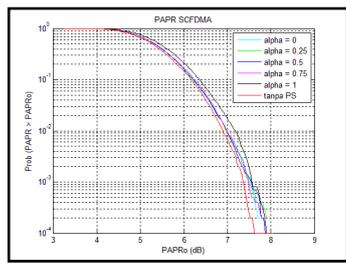
**Gambar 7.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *root raised cosine* filter.



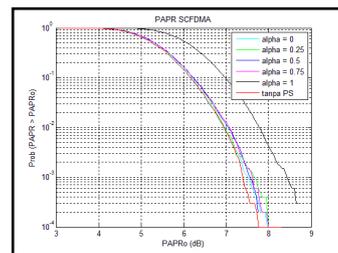
**Gambar 8.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *raised cosine* filter.



**Gambar 9.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *root raised cosine* filter.



**Gambar 10.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *raised cosine* filter.



**Gambar 11.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *root raised cosine* filter.

Perbandingan nilai PAPR dengan teknik modulasi QPSK, diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Perbandingan PAPR dengan teknik modulasi QPSK

Roll of Factor ( $\alpha$ )	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)
Tanpa PS	0	0	7.959	7.707	7.77	7.6
0	7.517	7.362	8.019	8.055	7.816	97.979
0.25	6.039	4.976	8.104	8.81	7.936	7.892
0.5	4.411	3.361	8.554	9.248	7.773	7.843
0.75	3.09	3.403	8.981	9.345	7.84	7.836
1	2.215	3.647	9.01	9.761	8.159	8.684

**Tabel 3.** Hasil perhitungan efisiensi daya pada teknik modulasi QPSK

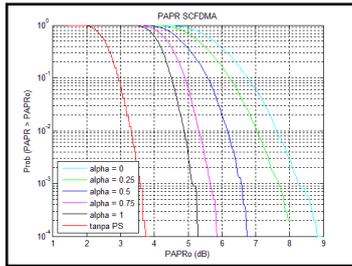
Roll of Factor	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter
Tanpa PS	0.326	0.323	0.184	0.187	0.188	0.186
0	0.182	0.19	0.181	0.182	0.179	0.183
0.25	0.199	0.222	0.174	0.168	0.183	0.182
0.5	0.231	0.233	0.17	0.154	0.181	0.181
0.75	0.256	0.237	0.162	0.149	0.179	0.18
1	0.273	0.239	0.157	0.143	0.181	0.161

Berdasarkan hasil simulasi analisis perbandingan PAPR dengan teknik modulasi QPSK, dapat diketahui bahwa:

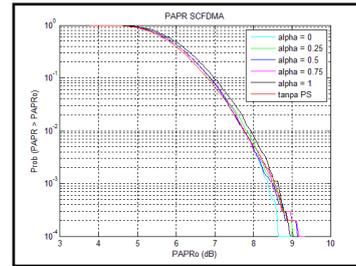
- Nilai PAPR tanpa menggunakan *pulse shaping* lebih rendah daripada yang menggunakan *pulse shaping*.
- Pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin rendah.
- Pada teknik *subcarrier mapping* DFDMA dan LFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin besar pula. DFDMA dan LFDMA memiliki level PAPR yang hampir sama.
- Teknik *pulse shaping* menggunakan *Raised Cosine Filter* memberikan nilai PAPR yang lebih rendah daripada *Root Raised Cosine Filter*.
- Efisiensi daya yang paling baik adalah pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA tanpa penggunaan *pulse shaping*, yaitu memiliki efisiensi daya sebesar 0.5. Semakin besar nilai efisiensi daya, menunjukkan bahwa metode tersebut tidak memerlukan daya yang besar, sehingga pada sisi pengguna tidak boros daya.

**B. Analisis Perbandingan Peak to Average Power Ratio (PAPR) Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) dengan menggunakan teknik modulasi 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)**

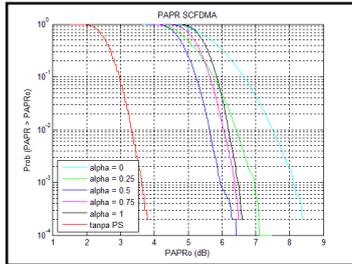
Berikut ini adalah hasil simulasi yang diperoleh:



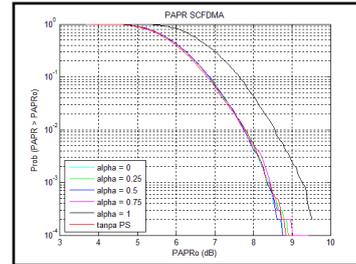
**Gambar 12.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *raised cosine* filter.



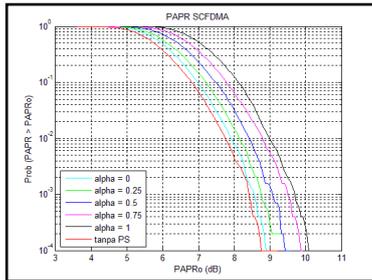
**Gambar 16.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *raised cosine* filter.



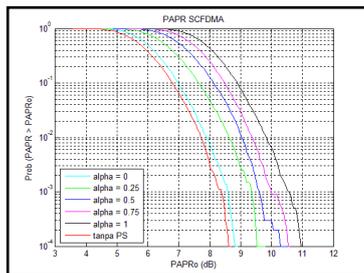
**Gambar 13.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *root raised cosine* filter.



**Gambar 17.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *root raised cosine* filter.



**Gambar 14.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *raised cosine* filter.



**Gambar 15.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *root raised cosine* filter.

Perbandingan nilai PAPR dengan teknik modulasi 16-QAM, diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 4.** Hasil Analisis Perbandingan PAPR dengan teknik modulasi 16-QAM

Roll of Factor ( $\alpha$ )	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)
Tanpa PS	3.718	3.792	8.699	8.563	8.509	8.573
0	8.773	8.39	8.836	8.761	8.942	8.738
0.25	8.009	7.068	9.165	9.472	8.727	8.799
0.5	6.698	6.626	9.372	10.24	8.81	8.844
0.75	5.825	6.482	9.812	10.49	8.92	8.894
1	5.269	6.407	10.04	10.9	8.81	9.85

Berdasarkan hasil simulasi analisis perbandingan PAPR dengan teknik modulasi 16-QAM, dapat diketahui bahwa:

- Nilai PAPR tanpa menggunakan *pulse shaping* lebih rendah daripada yang menggunakan *pulse shaping*.
- Pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin rendah.
- Pada teknik *subcarrier mapping* DFDMA dan LFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin besar pula. DFDMA dan LFDMA memiliki level PAPR yang hampir sama.
- Teknik *pulse shaping* menggunakan *Raised Cosine Filter* memberikan nilai PAPR yang lebih rendah daripada *Root Raised Cosine Filter*.
- Teknik modulasi 16-QAM memiliki PAPR yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi QPSK.

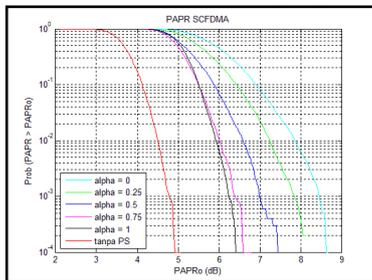
**Tabel 5.** Hasil perhitungan efisiensi daya pada teknik modulasi 16-QAM

Roll of Factor	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter
Tanpa PS	0.326	0.323	0.184	0.187	0.188	0.186
0	0.182	0.19	0.181	0.182	0.179	0.183
0.25	0.199	0.222	0.174	0.168	0.183	0.182
0.5	0.231	0.233	0.17	0.154	0.181	0.181
0.75	0.256	0.237	0.162	0.149	0.179	0.18
1	0.273	0.239	0.157	0.143	0.181	0.161

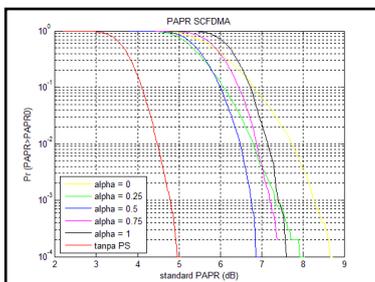
Dari tabel 4.5 dapat diketahui efisiensi daya yang paling baik adalah pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA tanpa penggunaan *pulse shaping*, yaitu memiliki efisiensi daya sebesar 0.326. Semakin besar nilai efisiensi daya, menunjukkan bahwa metode tersebut tidak memerlukan daya yang besar, sehingga pada sisi pengguna tidak boros daya.

**C. Analisis Perbandingan Peak to Average Power Ratio (PAPR) Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) dengan menggunakan teknik modulasi 64-Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM)**

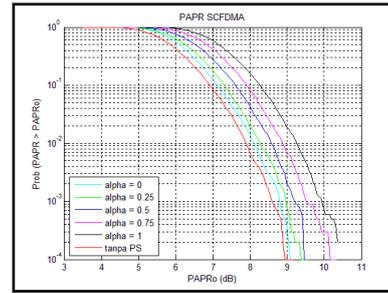
Berikut ini adalah hasil simulasi yang diperoleh:



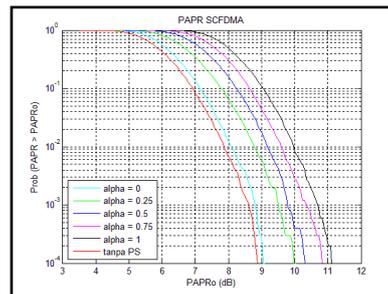
**Gambar 18.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *raised cosine* filter.



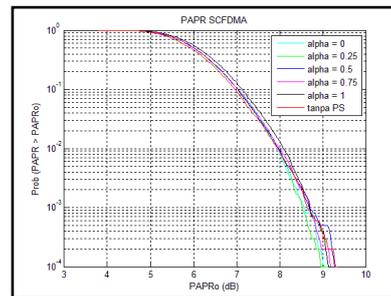
**Gambar 19.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* IFDMA, dan *root raised cosine* filter.



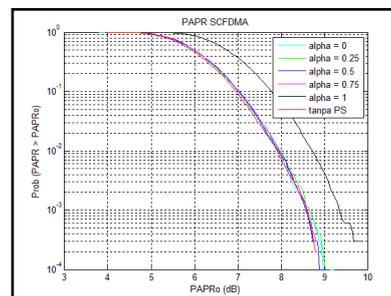
**Gambar 20.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *raised cosine* filter.



**Gambar 21.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* DFDMA, dan *root raised cosine* filter.



**Gambar 22.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *raised cosine* filter.



**Gambar 23.** Grafik perbandingan PAPR SCFDMA dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, *subcarrier mapping* LFDMA, dan *root raised cosine* filter.

Perbandingan nilai PAPR dengan teknik modulasi 64-QAM, diperlihatkan pada tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Analisis Perbandingan PAPR dengan teknik modulasi 64-QAM

Roll of Factor ( $\alpha$ )	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)	Raised Cosine Filter (dB)	Root Raised Cosine Filter (dB)
Tanpa PS	4.897	4.916	8.892	8.818	8.946	8.801
0	8.583	8.792	9.045	8.999	9.212	8.928
0.25	8.064	7.606	9.327	9.93	9.229	8.972
0.5	7.411	6.94	9.415	10.26	9.039	8.842
0.75	6.561	7.394	10.11	10.78	9.616	8.858
1	6.385	7.449	10.36	11.07	9.285	9.692

Berdasarkan hasil simulasi analisis perbandingan PAPR dengan teknik modulasi 64-QAM, dapat diketahui bahwa:

- Nilai PAPR tanpa menggunakan *pulse shaping* lebih rendah daripada yang menggunakan *pulse shaping*.
- Pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin rendah.
- Pada teknik *subcarrier mapping* DFDMA dan LFDMA, semakin besar *roll of factor*, maka nilai PAPR semakin besar pula. DFDMA dan LFDMA memiliki level PAPR yang hampir sama.
- Teknik *pulse shaping* menggunakan *Raised Cosine Filter* memberikan nilai PAPR yang lebih rendah daripada *Root Raised Cosine Filter*.
- Teknik modulasi 64-QAM memiliki PAPR yang plaign tinggi jika dibandingkan dengan dua teknik modulasi sebelumnya, yaitu QPSK dan 16-QAM.

**Tabel 7.** Hasil perhitungan efisiensi daya pada teknik modulasi 64-QAM

Roll of Factor	IFDMA		DFDMA		LFDMA	
	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter	Raised Cosine Filter	Root Raised Cosine Filter
Tanpa PS	0.285	0.284	0.18	0.181	0.179	0.182
0	0.186	0.182	0.176	0.177	0.173	0.179
0.25	0.198	0.208	0.171	0.159	0.173	0.178
0.5	0.213	0.212	0.169	0.153	0.177	0.181
0.75	0.235	0.213	0.156	0.145	0.165	0.18
1	0.24	0.225	0.152	0.14	0.172	0.164

Dari tabel 4.7 dapat diketahui efisiensi daya yang paling baik adalah pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA tanpa penggunaan *pulse shaping*, yaitu memiliki efisiensi

daya sebesar 0.285. Semakin besar nilai efisiensi daya, menunjukkan bahwa metode tersebut tidak memerlukan daya yang besar, sehingga pada sisi pengguna tidak boros daya.

## V. PENUTUP

### A. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) dengan menggunakan teknik *subcarrier mapping* IFDMA memiliki nilai PAPR yang paling rendah. Teknik modulasi yang digunakan juga berpengaruh terhadap nilai PAPR yang dihasilkan. Penggunaan *pulse shaping* pada simulasi yang dilakukan mempengaruhi nilai PAPR, yang mana penggunaan *Raised Cosine Filter* memberikan nilai PAPR yang lebih rendah daripada *Root Raised Cosine Filter*. Variasi besarnya *roll of factor* terlihat pengaruhnya pada teknik *subcarrier mapping* IFDMA saja, semakin besar *roll of factor*, maka semakin rendah nilai PAPR.

### B. SARAN

Skripsi ini dapat dikembangkan dengan memvariasikan *bandwidth* yang digunakan, untuk melihat pengaruh pemilihan *bandwidth* terhadap nilai PAPR SCFDMA.

## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Holma, Harri and Antti Toskala. 2007. *WCDMA for UMTS – HSPA evolution and LTE*. UK: British Library.
- [2]. Holma, Harri and Antti Toskala. 2007. *LTE for UMTS – OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*. UK: British Library.
- [3]. Khan, Farooq. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [4]. Myung, H. G. Mei 2008. *Introduction to Single Carrier FDMA*. 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007). Poland: EURASIP.
- [5]. Myung, H. G. and D. J. Goodman. 2009. *Single Carrier FDMA a New Interface for LTE*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- [6]. Myung, H. G., Junsung Lim and David. J. Goodman. 2006. *Peak-To-Average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals With Pulse Shaping*. The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06).
- [7]. Rahman, Raina. 2009. *CPM-SC-IFDMA a Power Efficient Transmission Scheme for Uplink LTE*. University of Kansas.
- [8]. Sahu, Abhijeet and Soumyajyoti Behera. 2011. *PAPR Analysis and Channel Estimation Techniques for 3GPP LTE System*. National Institute of Technology Rourkela.
- [9]. Xiong, Fuqin. 2006. *Digital Modulation Techniques*. London: Artech House, Inc.
- [10]. Zyren, Jim. 2007. *Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer*. White Paper.