

# SIMULASI METODE CLIPPING-FILTERING, SELECTIVE MAPPING (SLM) DAN PARTIAL TRANSMIT SEQUENCE (PTS) UNTUK MEREDUKSI PAPR PADA SISTEM OFDM

Ariyono Rohmadi<sup>\*)</sup>, Imam Santoso<sup>\*)</sup>, and Ajub Ajulian ZM<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail : ariyono\_rahmadi@yahoo.com, imamstso@undip.ac.id, ajub.ayulian@gmail.com

## Abstrak

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) saat ini digunakan dalam komunikasi nirkabel. Sistem OFDM dapat memberikan kekebalan dalam multi-path fading dan mengurangi kompleksitas equalizer. Kerugian utama OFDM ialah mempunyai Peak to Average Power Ratio (PAPR) relatif tinggi. Sinyal yang mempunyai peak yang tinggi dapat diperoleh dari superposisi subcarrier-subcarrier. Intermodulasi terjadi karena efek distorsi nonlinear. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai Inter Carrier Interferences (ICI) dan out-of-band radiation. Oleh karena itu, PAPR yang tinggi harus direduksi. Dalam penelitian ini diamati berbagai variasi metode Clipping – Filtering (CF), Selective Mapping (SLM) dan Partial Transmit Sequence (PTS) untuk mereduksi PAPR dari sinyal OFDM. Grafik Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) digunakan sebagai tolok ukur kinerja masing-masing metode pereduksi PAPR. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kinerja metode CF dengan CR = 2 diperoleh reduksi PAPR sebesar 3,78 dB pada CF 1 iterasi ; 5,23 dB pada CF 2 iterasi dengan CCDF=10<sup>-4</sup>. Kinerja metode SLM dengan N=2 diperoleh reduksi PAPR sebesar 1,58 dB ; N=4 sebesar 2,82 dB dengan CCDF=10<sup>-4</sup>. Kinerja metode PTS dengan M=128 diperoleh reduksi PAPR sebesar 1,78 dB ; M=256 sebesar 1,81 dB dengan CCDF=10<sup>-4</sup>.

*Kata kunci : OFDM, PAPR, CF, SLM, PTS*

## Abstract

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) has been recently seen rising popularity in wireless applications. An OFDM-based system can provide greater immunity to multi-path fading and reduce the complexity of equalizers. The main drawback of OFDM is its high Peak to Average Power Ratio (PAPR). The signal with large peaks can be obtained by constructive superposition of subcarriers. Peaks are distorted nonlinearly due to amplifier imperfection. The intermodulation product occurs as effect of nonlinear distortion. They can be interpreted as inter carrier interferences (ICI) and out-of-band radiation. Therefore, high PAPR must be reduced. In this research, Clipping – Filtering (CF), Selective Mapping (SLM) and Partial Transmit Sequence (PTS) method is proposed to reduce PAPR of OFDM signal. Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) curve is used to measure the performance improvement of these proposed method. From the experiment result, we get the result of CF method with CR=2, this value was according to reduction result of 3,78 dB of PAPR with CF 1 iteration; 5,23 dB with CF 2 iterations with CCDF=10<sup>-4</sup>. The test of SLM method that N=2 resulted 1,58 dB of PAPR reductions, N=4 resulted 2,82 dB of PAPR reductions with CCDF=10<sup>-4</sup>. The test of PTS method that M=128 resulted 1,78 dB of PAPR reductions, M=256 resulted 1,81 dB of PAPR reductions with CCDF=10<sup>-4</sup>.

*Keyword : OFDM, PAPR, CF, SLM, PTS*

## 1. Pendahuluan

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan suatu skema modulasi multi carrier yang mampu bekerja pada *multipath Fading* dan yang paling penting bisa memberikan solusi terhadap tuntutan akses layanan kecepatan tinggi secara *real time* dengan

performansi yang baik. Selain itu, terdapat suatu sistem antenna yang bisa dikombinasikan dengan OFDM untuk memenuhi kebutuhan akan kualitas sinyal yang bagus dengan *data rate* yang tinggi tanpa harus menambah daya dan *bandwidth*.

Sinyal OFDM terdiri dari sejumlah subcarrier yang dimodulasi secara terpisah. Jika masing-masing subcarrier memiliki fasa sinyal yang koheren, sinyal OFDM yang dihasilkan akan memiliki nilai perbandingan daya maksimum terhadap daya rata-rata (*Peak to Average Power Ratio*) yang besar. Nilai PAPR yang besar menghasilkan beberapa kerugian seperti: meningkatnya kompleksitas ADC dan DAC serta mengurangi efisiensi dari RF *power amplifier*. *Peak* mengalami distorsi nonlinear disebabkan oleh ketidaksempurnaan *amplifier*. Intermodulasi terjadi karena efek distorsi nonlinear. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai *Inter Carrier Interferences* (ICI) dan *out-of-band radiation*. Oleh karena itu, PAPR yang tinggi harus direduksi. Solusi untuk mengatasi PAPR yang tinggi ini adalah dengan meminimalkan nilai PAPR pada sinyal OFDM yang akan ditransmisikan. Dengan kata lain, diperlukan skema pereduksi PAPR pada bagian *transmitter* sinyal OFDM.

Penelitian mengenai usaha untuk mereduksi PAPR yang pernah dilakukan yaitu mereduksi PAPR pada sinyal OFDM dengan mengkombinasikan *Huffman Coding* dan metode *Clipping-Filtering* (FH Juwono,2009). *HuffmanCoding* digunakan sebagai *source coding* lalu algoritma pereduksi PAPR yang digunakan adalah *Clipping*. Sedangkan *Filtering* berguna untuk mengurangi *outof band radiation* dari efek *Clipping*.

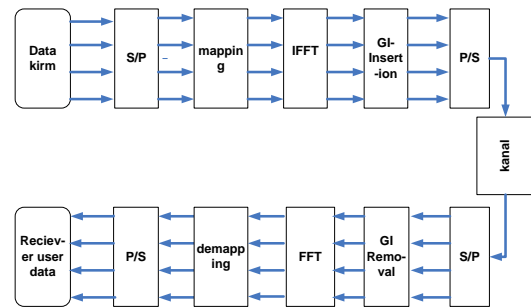
Dalam penelitian ini diamati berbagai variasi metode *Clipping-Filtering* (CF), *Selective Mapping* (SLM), *Partial Transmit Sequence* (PTS) untuk mereduksi PAPR dari sinyal OFDM. Penelitian ini akan menganalisis kinerja metode tersebut dalam mereduksi PAPR pada sistem OFDM. Grafik *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) digunakan untuk tolok ukur kinerja masing-masing metode dalam mereduksi PAPR sistem OFDM. Grafik CCDF merupakan representasi nilai PAPR sistem dan bersifat statistik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja berbagai variasi metode pereduksi PAPR yaitu *Clipping-Filtering* (CF), *Selective Mapping* (SLM), dan *Partial Transmit Sequence* (PTS) dalam mereduksi PAPR pada sistem OFDM.

## 2. Metode

### 2.1. OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu subpembawa. OFDM adalah sebuah teknik yang diterapkan kepada sinyal yang telah termodulasi, sebagai modulasi tingkat kedua. Caranya yaitu dengan membagi data secara paralel pada sejumlah subkanal pita sempit, lalu masing-masing data pada subkanal tersebut dimodulasikan dengan subfrekuensi pembawa yang saling *orthogonal*, selanjutnya ditransmisikan secara simultan.

Sistem OFDM sederhana dapat ditunjukkan pada diagram blok gambar 1 berikut :



Gambar 1. Diagram Blok OFDM

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

Dalam sistem OFDM, sinyal OFDM terdiri atas penjumlahan sejumlah subcarrier yang dimodulasi secara independen. Apabila fasa setiap *subcarrier* sama maka akan dihasilkan daya sinyal maksimum sebesar N kali daya rata-ratanya. Perbandingan antara daya sinyal maksimum dengan daya rata-ratanya biasa disebut sebagai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR). Pada suatu waktu, penjumlahan ini sangat besar dan pada waktu yang lain sangat kecil, artinya nilai daya maksimum dari sinyal pasti selalu lebih besar dari daya rata-ratanya. Nilai PAPR yang besar merupakan tantangan dalam mengimplementasikan OFDM karena dapat mengurangi efisiensi dan meningkatkan biaya dari RF *power amplifier*. Nilai PAPR yang besar pada OFDM membutuhkan *amplifier* dengan *dynamic range* yang lebar untuk mengakomodasi amplitudo sinyal. Jika hal ini tidak terpenuhi maka akan terjadi distorsi linear yang menyebabkan *subcarrier* menjadi tidak lagi *orthogonal* dan pada akhirnya menurunkan performansi OFDM.

Sinyal OFDM terdiri dari sejumlah *subcarrier* yang dimodulasi sendiri-sendiri sehingga dapat menghasilkan perbandingan antara daya puncak dan daya rata-rata (*Peak to Average Power Ratio*) yang cukup besar ketika dijumlahkan (superposisi) secara koheren. Ketika N sinyal dengan fasa yang sama dijumlahkan akan menghasilkan daya puncak sebesar N kali dari daya rata-rata. Daya puncak didefinisikan sebagai daya dari gelombang sinus dengan amplitudo sama dengan nilai *envelope* maksimum. Karena itu, *carrier* yang tidak dimodulasikan mempunyai PAPR sebesar 0 dB. PAPR dirumuskan sebagai :

$$PAPR = \frac{\max|x(t)|^2}{E[|x(t)|]^2} \quad (1)$$

dimana

PAPR : *Peak to Average Power Ratio*  
 $\max|x(t)|$  : maksimal/puncak sinyal OFDM

$E[|x(t)|]$  : ekspektasi/mean sinyal OFDM  
 $|x(t)|$  : nilai mutlak simbol OFDM

Biasanya PAPR dideskripsikan secara statistik dengan menggunakan *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF). CCDF dinyatakan sebagai :

$$CCDF = 1 - CDF \quad (2)$$

$$CCDF = 1 - (1 - e^{-PAPR})^N \quad (3)$$

Dimana

CCDF : *Complementary Cumulative Distribution Function*  
 CDF : *Cumulative Distribution Function*  
 PAPR : *Peak to Average Power Ratio*  
 N : jumlah *subcarrier* OFDM

PAPR yang besar akan mengakibatkan kerugian seperti kompleksitas *analog-to-digital* dan *digital-to-analog converter* yang meningkat dan menurunkan efisiensi *amplifier* daya (*power amplifier*).

### 2.3. Clipping-Filtering (CF)

Nilai PAPR yang besar akan mengakibatkan sebaran spektrum yang signifikan (*out-of-band*), *intersymbol interference* (ICI) dan distorsi *in-band* ketika dilewatkan melalui divais nonlinear. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *amplifier* linear atau dengan *backoff* titik operasi suatu *amplifier* nonlinear yang mengakibatkan menurunnya efisiensi daya.

Cara yang paling mudah untuk mengatasi PAPR yang tinggi adalah dengan memotong (*clipping*) sinyal masukan sebelum ke *amplifier*. Karena probabilitas terjadinya sinyal dengan peak yang tinggi sangat kecil, maka *clipping* merupakan suatu teknik yang efektif untuk menurunkan PAPR. Namun, *clipping* merupakan proses yang nonlinear dan akan mengakibatkan distorsi *in-band* yang cukup signifikan yang akibatnya akan menurunkan BER.

*Peak power* pada sinyal OFDM akan dibatasi dengan *threshold* melalui persamaan berikut:

$$x(t) = s(t), \text{ untuk } |s(t)| \leq A \quad (4)$$

$$x(t) = A e^{j\varphi t}, \text{ untuk } |s(t)| > A \quad (5)$$

dimana

$x(t)$  : sinyal OFDM hasil *Clipping*  
 $s(t)$  : simbol OFDM  
 A : nilai *threshold Clipping*

$\varphi t$  : fasa *Clipping*

Dari persamaan diatas dihasilkan sinyal yang amplitudonya tidak melebihi A, dengan fasa  $\varphi t$  yang sama dengan aslinya. Nilai A ditentukan oleh parameter *Clipping Ratio* (CR) yang dinyatakan persamaan berikut:

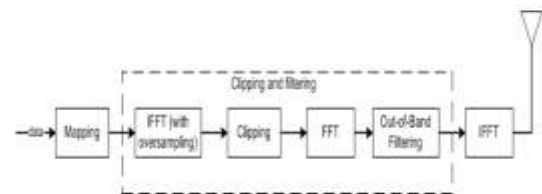
$$CR = \frac{A}{\sigma} \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{N} \quad (7)$$

dimana

CR : *Clipping Ratio*  
 A : nilai *threshold Clipping*  
 $\sigma$  : nilai pembanding  
 N : jumlah *subcarrier* OFDM

Diagram blok *transmitter* OFDM dengan disertai *clipping* dan *filtering* seperti diperlihatkan gambar berikut:



Gambar 2. *Transmitter* OFDM dengan *Clipping* dan *Filtering*

### 2.4. Selective Mapping (SLM)

Metode ini digunakan untuk meminimalkan PAPR dari sistem transmisi *multicarrier*. Kelompok kandidat sinyal yang merepresentasikan informasi yang sama dipilih berdasarkan besar PAPR nya. Masukan dikalikan oleh runtun sinyal acak dan resultan yang mempunyai PAPR terendah dipilih untuk ditransmisikan. Berikut algoritmanya :

- 1) Membangkitkan blok data masukan sinyal OFDM yaitu x.
- 2) Membangkitkan U runtun  $x^{(u)}$ , yang merepresentasikan informasi yang sama untuk setiap simbol OFDM.
- 3) Memilih PAPR terendah dalam kawasan waktu dari U runtun dan selanjutnya runtun dengan PAPR terendah ditransmisikan.
- 4) Menentukan U *vector* yang berbeda sebagai berikut:

$$S^{(u)} = [b_1^{(u)}, \dots, b_N^{(u)}] \quad (8)$$

$$b_n^{(u)} = e^{j\varphi_n^{(u)}} \quad (9)$$

$$\varphi_n^{(u)} \in [0, 2\pi] \quad (10)$$

$$n = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

$$u = 1, 2, \dots, U \quad (12)$$

dimana

$S^{(u)}$  : sinyal keluaran SLM/kandidat sinyal

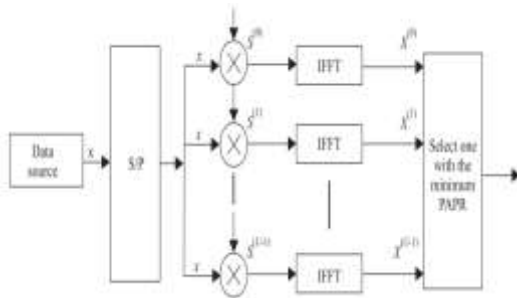
$b_n^{(u)}$  : sinyal bobot pengali

$\varphi_n^{(u)}$  : fasa sinyal bobot pengali

$n$  : jumlah *subcarrier* OFDM

$u$  : jumlah seleksi SLM

Berikut diagram blok SLM :



Gambar 3. Diagram Blok SLM

### 2.5. Partial Transmit Sequence (PTS)

Metode ini berdasarkan pada *phase shifting* dari *subblock* data dan perkalian struktur data oleh *vector* random, Metode ini fleksibel dan efektif untuk sistem OFDM. *Frame* data input dibagi menjadi *non-overlapping subblocks* dan setiap *subblock* ditukar fasanya oleh *factor* konstan untuk mengurangi PAPR. Berikut algoritmanya:

- 1) Membagi *subcarrier* OFDM menjadi  $V$  kelompok.
- 2) Membangkitkan sinyal OFDM untuk setiap kelompok.
- 3) Mengkombinasikan  $V$  keluaran sinyal OFDM dengan *factor* pembobotan  $b_v$ .
- 4) Memilih sinyal keluaran yang mempunyai PAPR terendah, vektor simbol input  $x$  dibagi menjadi  $V$  *disjoint symbol subvector*  $X_v$ .

$$b_v^{(u)} = e^{j\varphi_v^{(u)}} \quad (13)$$

$$\varphi_v^{(u)} \in [0, 2\pi] \quad (14)$$

$$x'(b) = \sum_{v=1}^V b_v X_v \quad (15)$$

$$v = 1, 2, 3, \dots, V \quad (16)$$

$$u = 1, 2, 3, \dots, U \quad (17)$$

dimana

$u$  : jumlah *subcarrier* sinyal OFDM  
(dalam simulasi disebut variabel  $M$ )

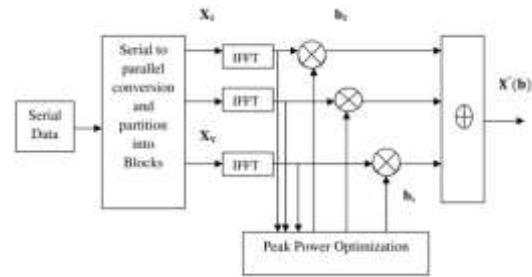
$v$  : jumlah *subblock*  
(dalam simulasi disebut variabel  $V$ )

$\varphi_n^{(u)}$  : fasa sinyal bobot pengali

$b_v$  : faktor pengali/pembobotan

$x'(b)$  : runtun keluaran PTS/kandidat sinyal

Berikut diagram blok PTS :



Gambar 4. Diagram Blok PTS

Pada bagian ini akan dipaparkan perancangan sistem dan parameter simulasi. Diagram blok sisi pemancar sistem pereduksi PAPR dapat dilihat pada gambar 2, gambar 3 dan gambar 4. Perancangan simulasi program terdiri dari tiga program yang independen, yaitu program simulasi pereduksi *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) pada sistem OFDM dengan metode *Clipping-Filtering* (CF), program simulasi pereduksi *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) pada sistem OFDM dengan metode *Selective Mapping* (SLM) dan yang terakhir program simulasi pereduksi *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) pada sistem OFDM dengan metode *Partial Transmit Sequence* (PTS).

Ketiga metode tersebut masing-masing mempunyai parameter pengujian yang ditampilkan pada tabel 1 untuk parameter metode CF, tabel 2 untuk parameter metode SLM dan tabel 3 untuk parameter metode PTS.

Tabel 1. Parameter Sistem Simulasi *Clipping-Filtering*

Parameter	Nilai yang digunakan
Ukuran / panjang simbol OFDM (L)	64, 128, 256, 512
Faktor interpolasi / <i>oversampling</i> (IF)	2, 4, 6, 8
<i>Clipping Ratio</i> (CR)	2, 4, 6
Jumlah iterasi (ITERATE_NUM)	4
Jumlah maksimal simbol (MAX_SYMBOLS)	100000
Tipe modulasi	QPSK

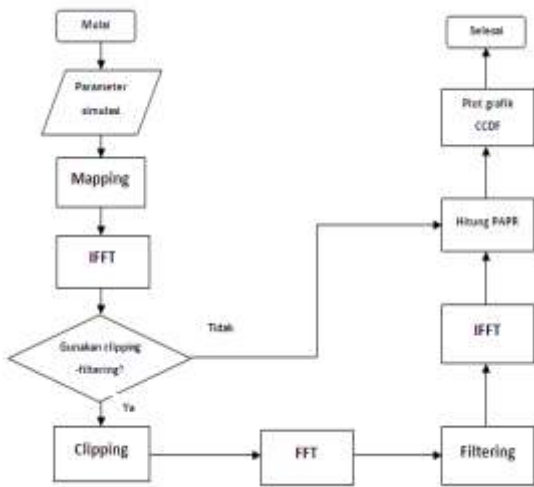
Tabel 2. Parameter Sistem Simulasi *Selective Mapping*

Parameter	Nilai yang digunakan
Ukuran FFT/jumlah titik FFT (K)	128, 256, 512
Jumlah seleksi/ rute (N)	2, 4, 8
Jumlah maksimal simbol (MAX_SYMBOLS)	100000
Tipe Modulasi	QPSK

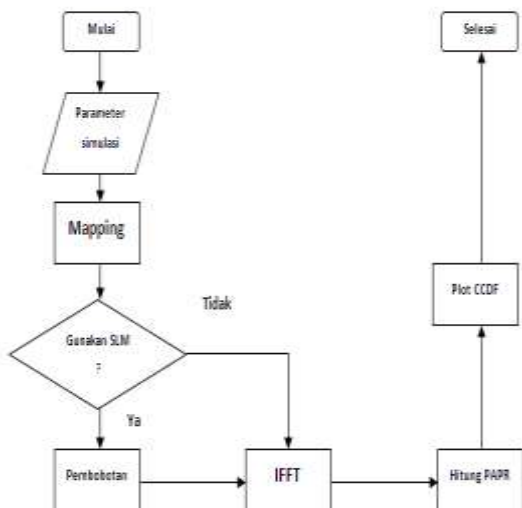
Tabel 3. Parameter Simulasi *Partial Transmit Sequence*

Parameter	Nilai yang digunakan
Ukuran FFT/jumlah titik FFT (M)	128, 256, 512
Jumlah seleksi/ subblock (V)	4
Jumlah maksimal simbol (MAX_SYMBOLS)	100000
Tipe Modulasi	QPSK

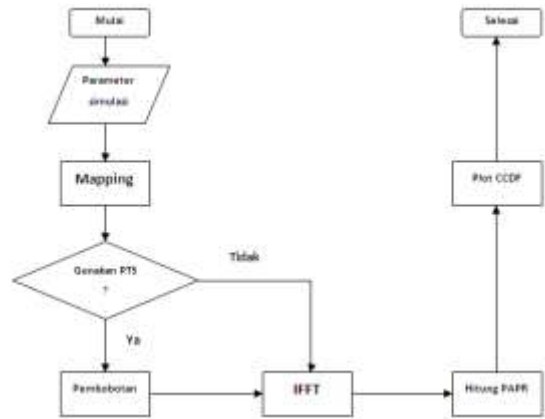
Diagram alir program simulasi pereduksi PAPR pada sistem OFDM dapat disajikan dalam gambar 5, gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 5. Diagram Alir Program CF



Gambar 6. Diagram Alir Program SLM



Gambar 7. Diagram Alir Program PTS

### 3. Hasil dan Analisis

Pada bagian ini akan dilakukan analisis hasil penelitian dan pembahasan atas kinerja metode pereduksi PAPR pada sistem OFDM yaitu CF, SLM dan PTS. Untuk mengetahui kinerja metode pereduksi PAPR dapat dianalisis dari representasi grafik CCDF-nya.

#### 3.1. Pengujian Kinerja CF dengan Variasi CR (*Clipping Ratio*)

Pengujian ini menggunakan variasi parameter CR=2, CR=4, L=64, IF=2 dan parameter lainnya dibuat tetap. Hasil pengujian berupa grafik CCDF yang ditunjukkan pada gambar 8 untuk CR=2 dan gambar 9 untuk CR=4. Hasil pengujian juga dapat disajikan pada tabel 4 untuk CR=2 dan tabel 5 untuk CR=4.

Dari gambar 8, pengujian kinerja metode CF dengan nilai CR = 2 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 3,78 dB pada CF 1 iterasi ; 5,23 dB pada CF 2 iterasi dengan CCDF=10<sup>-4</sup>. Dari gambar 9, dengan nilai CR=4 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 2,32 dB pada CF 1 iterasi; 3,51 dB pada CF 2 iterasi dengan CCDF=10<sup>-4</sup>. Jadi, semakin besar jumlah iterasi maka semakin baik kinerja metode CF dalam mereduksi PAPR. Semakin kecil nilai CR maka semakin baik kinerja metode CF dalam mereduksi PAPR.

#### 3.2. Pengujian Kinerja SLM dengan Variasi N (*Jumlah Seleksi/Rute*)

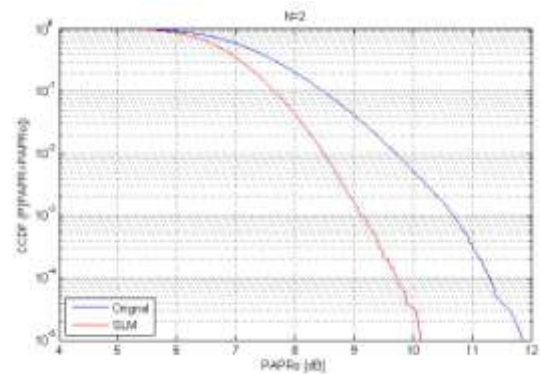
Pengujian ini menggunakan variasi parameter N=2, N=4, K=128 dan parameter lainnya dibuat tetap. Hasil pengujian berupa grafik CCDF yang ditunjukkan pada gambar 10 untuk N=2 dan gambar 11 untuk N=4. Hasil pengujian juga dapat disajikan pada tabel 6 untuk N=2 dan tabel 7 untuk N=4.

Dari gambar 10, pengujian kinerja metode SLM dengan nilai  $N=2$  diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,58 dB pada  $CCDF=10^{-4}$ . Dari gambar 11, dengan nilai  $N=4$  diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 2,82 dB pada  $CCDF=10^{-4}$ . Jadi, semakin besar nilai  $N$  maka semakin baik kinerja metode SLM dalam mereduksi PAPR.

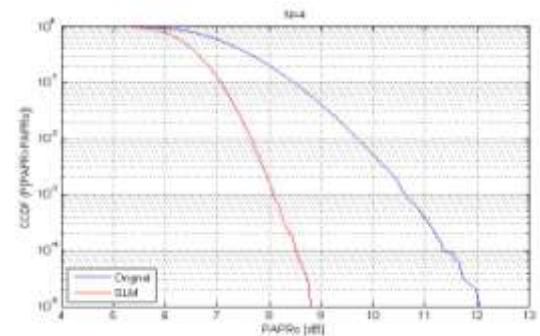
### 3.3. Pengujian Kinerja PTS dengan Variasi M (Jumlah Titik FFT)

Pengujian ini menggunakan variasi parameter  $M=128$ ,  $M=256$ ,  $V=4$  dan parameter lainnya dibuat tetap. Hasil pengujian berupa grafik CCDF yang ditunjukkan pada gambar 12 untuk  $M=128$  dan gambar 13 untuk  $M=256$ . Hasil pengujian juga dapat disajikan pada tabel 8 untuk  $M=128$  dan tabel 9 untuk  $M=256$ .

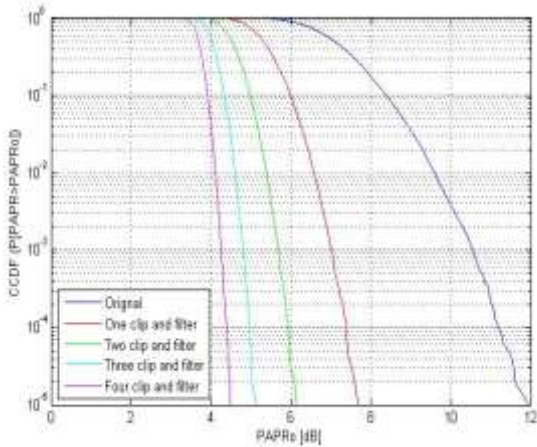
Dari gambar 12, pengujian kinerja metode PTS dengan nilai  $M=128$  diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,78 dB pada  $CCDF=10^{-4}$ . Dari gambar 13, dengan nilai  $M=256$  diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,81 dB pada  $CCDF=10^{-4}$ . Jadi, semakin besar nilai  $M$  maka semakin baik kinerja metode PTS dalam mereduksi PAPR.



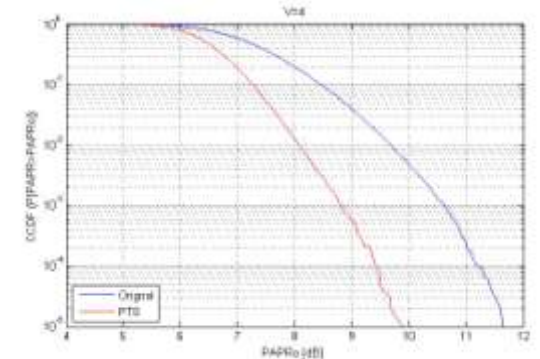
Gambar 10. Grafik CCDF Metode SLM dengan  $N=2$



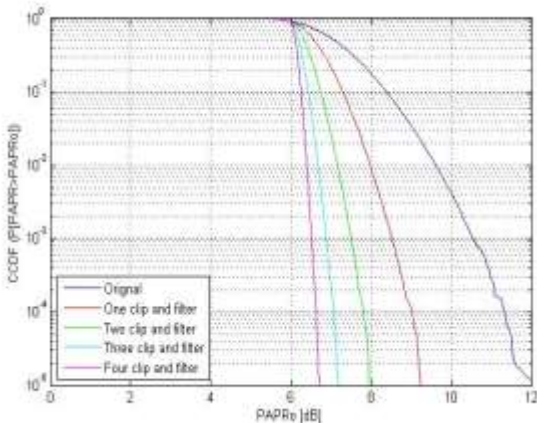
Gambar 11. Grafik CCDF Metode SLM dengan  $N=4$



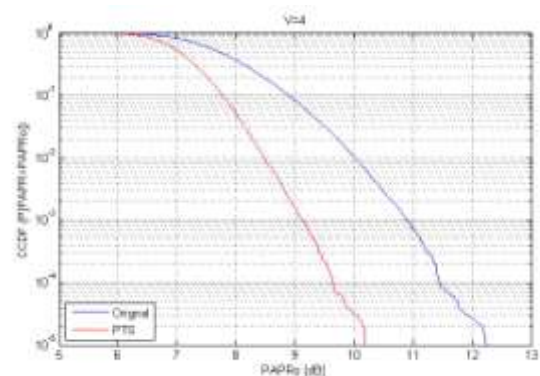
Gambar 8. Grafik CCDF Metode CF dengan  $CR=2$



Gambar 12. Grafik CCDF Metode PTS dengan  $M=128$



Gambar 9. Grafik CCDF Metode CF dengan  $CR=4$



Gambar 13. Grafik CCDF metode PTS dengan  $M=256$

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal. Pengujian kinerja metode CF dengan nilai CR = 2 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 3,78 dB pada CF 1 iterasi ; 5,23 dB pada CF 2 iterasi dengan CCDF= $10^{-4}$ . Nilai CR=4 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 2,32 dB pada CF 1 iterasi; 3,51 dB pada CF 2 iterasi dengan CCDF= $10^{-4}$ . Pengujian kinerja metode SLM dengan nilai N=2 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,58 dB pada CCDF= $10^{-4}$ . Nilai N=4 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 2,82 dB pada CCDF= $10^{-4}$ . Pengujian kinerja metode PTS dengan nilai M=128 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,78 dB pada CCDF= $10^{-4}$ . Nilai M=256 diperoleh hasil reduksi PAPR sebesar 1,81 dB pada CCDF= $10^{-4}$ . Semakin besar jumlah iterasi maka semakin baik kinerja metode CF dalam mereduksi PAPR. Semakin kecil nilai CR maka semakin baik kinerja metode CF dalam mereduksi PAPR. Semakin besar nilai N maka semakin baik kinerja metode SLM dalam mereduksi PAPR. Semakin besar nilai M maka semakin baik kinerja metode PTS dalam mereduksi PAPR. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan merancang sistem pereduksi PAPR pada sistem OFDM secara lengkap dari sisi pemancar sampai sisi penerima dan memperhitungkan pengaruh kanal transmisi. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan metode pereduksi PAPR yang lain, misalnya metode Transformasi Hadamard, *Tone Reservation*, *Peak Cancellation* dan lain-lain.

#### Referensi

- [1]. Maddanaca, Andi. *Reduksi Peak-to-Average Power Ratio Pada Sistem STBC MIMO-OFDM dengan Metode Selected Mapping dan Partial Transmit Sequence*. *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer* Vol. 3, No.1, 2012.
- [2]. Sengar, Suverna dan Bhattacharya, P.P. *Performance Improvement in OFDM System by PAPR Reduction*. *International Journal (SIPIJ) Vol.3, No.2, April 2012*.
- [3]. Goldsmith, Andrea. *Wireless Communications*. Cambridge University Press. 2005.
- [4]. Parvez, M.Z. dan Baki, M.A.A. *Peak to Average Power Ratio (PAPR) Reduction in OFDM Based Radio Systems*. Blekinge Institute of Technology. Swedia. 2010.
- [5]. Hilman, F.J. *Reduksi PAPR Menggunakan Huffman Coding yang Dikombinasikan dengan Clipping dan Filtering Untuk Transmitter OFDM*. Penelitian S-1. Universitas Indonesia. Jakarta. 2009.
- [6]. Susilo, H.P. *Evaluasi Kinerja Sistem MIMO-OFDMA Menggunakan Alokasi Sub-pembawa FDMA Berupa Block dan Interleaved*. Penelitian S-1. Universitas Diponegoro. Semarang. 2011.
- [7]. Pratista, Hayu. *Rancang Bangun Lapisan Fisik Pada Sisi Pengirim Untuk Sistem Wireless LAN dengan Keluaran Gigabit*. Penelitian S-1. Universitas Diponegoro. Semarang. 2012.
- [8]. Dash, A.A. *OFDM Systems and PAPR Reduction Techniques in OFDM Systems*. Thesis Project. National Institute of Technology. Rourkela. 2010.
- [9]. Susar, Aylin. *OFDM PAPR Reduction with Linear Coding and Codeword Modification*. Thesis Project. Middle East Technical University. 2005.
- [10]. Gavin, Hill. *Peak Power Reduction in Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmitter*. Thesis Project. Victoria University. 2011.