

Analisis Pengaruh Reduksi *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) dengan Teknik *Selected Mapping* (SLM) Terhadap Efisiensi Spektrum pada Sistem OFDM

Walid Maulana Hadiansyah¹, Masfiyatul Hikmiyah², Yoedy Moegiharto³, Ida Anisah⁴

¹ Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Indonesia

^{2,3,4} Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia

¹ walid@ittelkom-sby.ac.id

^{2,3,4} fifi76@te.student.pens.ac.id, ymoegiharto@pens.ac.id, ida@pens.ac.id

Abstract— Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology has been widely used in high-speed digital communications such as Wireless Local Area Network (WLAN), Digital Audio Broadcasting (DAB), Digital Video Broadcasting (DVB), and Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL). One of the disadvantages of OFDM systems is the high value of Peak to Average Power Ratio (PAPR) which causes non-linear distortion in High Power Amplifiers (HPA). As a result, there is a decrease in spectrum efficiency. The PAPR reduction technique used in this paper is the Selected Mapping (SLM) and SLM Riemann techniques. The simulation results are illustrated by the Cumulative Complementary Distribution Function (CCDF) curve and spectrum efficiency curve. The parameters used are the number of sub-blocks and the number of subcarriers. In this study, the SLM technique produced a PAPR value of 8,912 dB while the Riemann SLM technique produced a PAPR value of 9,099 dB. So that the SLM technique can reduce the PAPR value better than the Riemann SLM technique. The difference in the number of subblocks also affects the performance of the reduction technique, the SLM technique with subblock 8 produces a performance of 0.5 dB better than the subblock 4. So the performance will be better if the number of subblocks used is increasing. Then the more number of subcarriers, the greater the PAPR value produced. Furthermore, spectrum efficiency increases with increasing transmit power. SLM and SLM Riemann reduction techniques are able to increase transmit power which also leads to increased spectrum efficiency. The use of more sub-blocks will increase spectrum efficiency. The SLM technique with subblock 4 produces spectrum efficiency of 0.425 bit/s/Hz and sub-block 8 produces spectrum efficiency of 0.444 bit/s/Hz. The SLM reduction technique provides better spectrum efficiency results than the SLM Riemann reduction technique.

Keywords— OFDM, PAPR, Selected Mapping, SLM Riemann, CCDF, spectrum efficiency

Abstrak— Teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) telah banyak diimplementasikan dalam komunikasi digital berkecepatan tinggi seperti *Wireless Local Area Network* (WLAN), *Digital Audio Broadcasting* (DAB), *Digital Video Broadcasting* (DVB), dan *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL). Salah satu kelemahan dari sistem OFDM adalah tingginya nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang menyebabkan terjadinya distorsi non linier pada *High Power Amplifier* (HPA). Akibatnya, terjadi penurunan efisiensi spektrum. Teknik reduksi PAPR yang digunakan pada karya tulis ini adalah teknik *Selected Mapping* (SLM) dan SLM Riemann. Hasil simulasi digambarkan dengan kurva *Cumulative Complementary Distribution Function* (CCDF) dan kurva efisiensi spektrum. Parameter yang digunakan yaitu jumlah subblok dan jumlah subcarrier. Pada penelitian ini, teknik SLM menghasilkan nilai PAPR sebesar 8.912 dB sedangkan teknik SLM Riemann menghasilkan nilai PAPR sebesar 9.099 dB. Sehingga teknik SLM dapat mereduksi nilai PAPR lebih baik dibandingkan dengan teknik SLM Riemann. Perbedaan jumlah subblok juga mempengaruhi kinerja teknik reduksi, teknik SLM dengan subblok 8 menghasilkan kinerja 0.5 dB lebih baik dibandingkan subblok 4. Sehingga kinerja akan semakin baik apabila jumlah subblok yang digunakan semakin banyak. Kemudian semakin banyak jumlah subcarrier maka nilai PAPR yang dihasilkan akan semakin besar. Selanjutnya, efisiensi spektrum meningkat seiring bertambahnya daya transmit. Teknik reduksi SLM dan SLM Riemann mampu meningkatkan daya transmit yang juga menyebabkan meningkatnya efisiensi spektrum. Penggunaan jumlah subblok yang lebih banyak akan meningkatkan efisiensi spektrum. Teknik SLM dengan subblok 4 menghasilkan efisiensi spektrum sebesar 0.425 bit/s/Hz dan subblok 8 menghasilkan efisiensi spektrum sebesar 0.444 bit/s/Hz. Teknik reduksi SLM memberikan hasil efisiensi spektrum yang lebih baik dari teknik reduksi SLM Riemann.

Kata kunci— OFDM, PAPR, Selected Mapping, SLM Riemann, CCDF, Efisiensi Spektrum

I. PENDAHULUAN

Sistem OFDM telah digunakan pada komunikasi digital berkecepatan tinggi seperti *Wireless Local Area Network* (WLAN), *Digital Audio Broadcasting* (DAB), *Digital Video Broadcasting* (DVB), dan *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) karena efisiensi bandwidth yang tinggi serta tahan terhadap interferensi narrowband dan multipath fading [1]. Namun, salah satu masalah utama pada sistem OFDM adalah tingginya nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang menyebabkan distorsi non linier pada *High Power Amplifier*

(HPA) dan mengurangi efisiensi daya [2]. Dengan demikian, distorsi non linier yang disebabkan oleh HPA mengurangi laju data dan menyebabkan penurunan kinerja efisiensi spektrum.

Untuk mengatasi hal tersebut, daerah kerja linier HPA harus diperlebar dengan cara memperbesar *Input Back Off* (IBO) HPA. Namun, nilai IBO yang besar dapat menyebabkan ketidakefisienan HPA, karena konsumsi daya HPA naik sejalan dengan bertambahnya IBO. Sehingga, solusi yang tepat dan efektif adalah dengan mereduksi nilai PAPR.

Beberapa teknik reduksi PAPR diantaranya *Clipping-Filtering* (CF) [3], *Selected Mapping* (SLM) [4], *Partial Transmit Sequence* (PTS) [5], dan *Advanced Peak Windowing*

[6]. Reduksi PAPR diharapkan dapat mengurangi penambahan IBO dan meningkatkan efisiensi HPA. Pada sistem OFDM, transmisi daya hanya menyerap 8% dari total konsumsi daya di pemancar, sementara 41% daya terbuang di HPA dan konsumsi daya komponen rangkaian yang lain sekitar 51% [7]. Oleh karena itu, dengan memperbaiki efisiensi HPA akan menghasilkan penghematan daya sehingga meningkatkan efisiensi spektrum.

Pada karya tulis ini, akan diterapkan teknik reduksi PAPR SLM dan menganalisis kinerja teknik reduksi tersebut terhadap efisiensi spektrum HPA.

II. METODE PENELITIAN

Sinyal OFDM terdiri atas penjumlahan sejumlah subcarrier yang saling tegak lurus dan dimodulasi secara terpisah. Setiap subcarrier yang memiliki fase yang sama, berarti memiliki daya sinyal maksimum sebesar N kali daya rata-ratanya. Sedangkan PAPR adalah rasio antara daya sinyal maksimum dengan daya rata-rata.

Nilai efisiensi HPA dapat berkurang karena semakin besarnya nilai PAPR. Agar tidak terjadi distorsi linier, dibutuhkan HPA dengan *dynamic range* yang lebar. Subcarrier menjadi tidak orthogonal jika terjadi distorsi linier, yang akhirnya dapat menurunkan performansi OFDM. Secara matematis, PAPR suatu sinyal dapat dituliskan dalam persamaan (1) sebagai berikut : [9]

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

dimana,

- PAPR : Peak to Average Power Ratio
- $|x(t)|$: nilai mutlak simbol OFDM
- $\max|x(t)|^2$: maksimum/puncak sinyal OFDM
- $E[|x(t)|]^2$: ekspektasi/mean sinyal OFDM

Besarnya PAPR dipengaruhi oleh faktor nilai CCDF. CCDF ditulis dalam persamaan (2) dan (3) sebagai berikut : [11]

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

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

dimana N adalah jumlah subcarrier OFDM.

Salah satu teknik reduksi PAPR adalah SLM. Pada SLM dipilih nilai PAPR yang paling kecil dari hasil perkalian antara input dengan deretan fasa sinyal. Kemudian sinyal yang terpilih akan ditransmisikan. Dibangkitkannya x yang merupakan blok data input sinyal OFDM. Selanjutnya U runtun dibangkitkan. U merepresentasikan informasi yang sama untuk tiap simbol OFDM. Pemilihan nilai PAPR terendah dalam domain waktu dari U runtun, kemudian U runtun yang terpilih akan ditransmisikan. Langkah terakhir yaitu menentukan U vektor yang berbeda menggunakan persamaan (4) hingga persamaan (6) berikut :

$$S^{(u)} = [b_1^{(u)}, \dots, b_N^{(u)}] \quad (4)$$

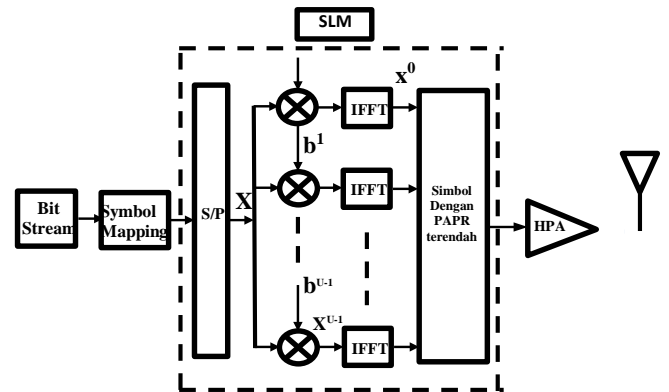
$$b_n^{(u)} = e^{j\varphi_n(u)} \quad (5)$$

$$\varphi_u^{(n)} \in [0, 2\pi] \quad (6)$$

dimana : $n = 1, 2, \dots, N$
 $u = 1, 2, \dots, U$

Dari persamaan di atas diketahui bahwa $S^{(u)}$ merupakan sinyal alternatif, kemudian $b_n^{(u)}$ adalah sinyal pengali, $\varphi_u^{(n)}$ merupakan fase sinyal pengali, kemudian n adalah jumlah *subcarrier* OFDM (dalam simulasi disebut variabel K), dan terakhir u yang merupakan jumlah seleksi SLM (dalam simulasi disebut variabel N).

Berikut ini adalah blok diagram dari SLM, input data blok pada $X = [X[0], X[1] \dots, X[N-1]]$ akan dikalikan dengan deretan subblok yang memiliki perbedaan fase antara satu dengan yang lain $[b_0^u, b_1^u, \dots, b_{N-1}^u]^T$ dimana $B_u(k) = e^{j\varphi_u(k)}$ dan $\varphi_u \in [0, 2\pi]$ untuk $k = 0, 1, \dots, N-1$ dimana $u = 1, 2, \dots, U$, sehingga dihasilkan blok data $x^u = [x^u[0], x^u[1] \dots, x^u[N-1]]^T$, diantaranya $\tilde{x} = x^{\tilde{u}}$ sehingga akan didapatkan sinyal dengan nilai PAPR terendah sebagai sinyal yang akan dikirimkan melalui HPA. Gambar 1 adalah blok diagram dari metode SLM.



Gambar 1. Blok Diagram Selected Mapping (SLM)

Riemann binary *sequences* merupakan transformasi dari matriks Riemann. Dengan diubahnya sebuah matriks Riemann menjadi Riemann Binary maka akan menghasilkan nilai BER yang baik. Sebelum mendapatkan Riemann binary, maka harus dibangkitkan dahulu matriks Riemann, kemudian di transformasikan menjadi Riemann binary, caranya yaitu untuk $1 \leq (i, j) \leq N + 1$, dengan $A_{i,j}$ adalah definisi dari elemen dalam baris i^{th} dan kolom j^{th} dari sebuah arbitrary $(N + 1) \times (N + 1)$ square matriks A.

Setiap $A_{i,j}$ dihitung seperti kondisi pada persamaan 7 berikut ini :

$$A_{i,j} = \begin{cases} i - 1, & \text{jika } i \text{ membagi } j \\ -1, & \text{jika dalam kondisi yang lain} \end{cases} \quad (7)$$

Pada persamaan tersebut dapat diketahui bahwa sebuah $N \times N$ matriks Riemann \bar{R} dapat diperoleh dengan menghilangkan baris dan kolom pertama dari matriks A. $\bar{R}_{u,k}$ mewakili elemen pada baris u^{th} dan kolom k^{th} dalam matriks Riemann. Kemudian, jika riemann binary sequences adalah sumber yang dipilih dari urutan SLM, maka u^{th} pada SLM sequences vektor $P^u[k]$ yang dikonversi menggunakan fungsi sigum.

Fungsi sigum digunakan untuk mentransformasikan matriks Riemann ($\bar{R}_{u,k}$) menjadi binary Riemann. Dalam hal persyaratan komputasi, pembangkitan dari U vektor Riemann binary sequences, membutuhkan perkalian dan perbandingan operasi floating point. Berikut Gambar 2 merupakan contoh deretan binary Riemann serta matriks Riemann dengan ukuran 4x4 :

$$\text{Matriks Riemann} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 4 \end{bmatrix}$$

$$\text{Binary Riemann} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 2. Binary Riemann dan Matriks Riemann

Efisiensi spektrum mengacu pada kecepatan informasi yang dapat ditransmisikan melalui bandwidth yang diberikan dalam sistem komunikasi tertentu. Kinerja dari pengujian sistem ini ditampilkan dalam kurva efisiensi spektrum (SE). Perhitungan nilai efisiensi spektrum melibatkan nilai dari variabel-variabel yang telah didapatkan dari proses simulasi yang dilakukan.

Persamaan efisiensi spektrum di atas dapat dijabarkan menjadi persamaan 8 dan 9 berikut ini :

$$\eta_{SE} = \frac{R}{B} \quad (8)$$

Nilai efisiensi spektrum merupakan perbandingan antara kecepatan data atau data rate (R) dengan bandwidth kanal (B). Berdasarkan formula Shannon, untuk menghitung kecepatan data R digunakan persamaan 9 berikut ini :

$$R = B \log_2(1 + SNR) = B \log_2\left(1 + \frac{P_t}{P_w}\right) \quad (9)$$

dimana *Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan perbandingan antara sinyal dan noise, P_t adalah rata-rata daya transmit dan P_w adalah rata-rata daya noise *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

$$P_w = P_{nc} + P_{s_av} - P_t \quad (10)$$

Rata-rata dari daya noise AWGN P_w dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 10. P_{nc} merupakan rata-rata daya AWGN, P_{s_av} merupakan rata-rata daya dari sinyal $s(n)$, dan

P_t merupakan daya transmit. Noise AWGN dibangkitkan secara random dengan perintah `randn` pada Matlab. Dari persamaan 9 dan 10, maka persamaan efisiensi spektrum menjadi seperti pada persamaan 11 berikut ini :

$$\eta_{SE} = \log_2\left(1 + \frac{P_t}{P_{nc} + P_{s_av} - P_t}\right) \quad (11)$$

Sinyal $s(n)$ merupakan sinyal output dari HPA yang dikombinasi dengan predistorer. $s(n)$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12 :

$$s(n) = \begin{cases} \sqrt{G_h} x(n), & |\sqrt{G_h} x(n)|^2 < P_{omax} \\ \sqrt{P_{omax}} e^{j\arg(x(n))}, & |\sqrt{G_h} x(n)|^2 \geq P_{omax} \end{cases} \quad (12)$$

dimana G_h merupakan gain HPA dan P_{omax} adalah daya output saturasi HPA, keduanya diperoleh dari datasheet HPA.

Dengan menggunakan persamaan 12 di atas, kemudian dapat dihitung nilai daya transmit P_t dengan persamaan 13 berikut ini :

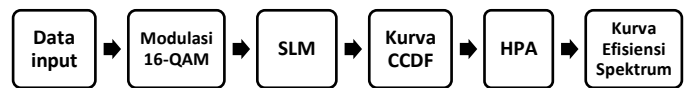
$$P_t = \frac{\{E[s(n)x_i^*(n)]\}^2}{P_{oav}} \quad (13)$$

dimana $x_i(n) = \sqrt{G_h} x(n)$ merupakan sinyal output dari HPA ideal tanpa distorsi dan rata-rata dari sinyal $x_i(n)$ adalah $P_{oav} = G_h P_{avg}$ dengan G_h merupakan gain HPA dan P_{avg} merupakan rata-rata daya sinyal OFDM.

Dari beberapa persamaan di atas, dapat diperoleh rumus efisiensi pada persamaan 14 berikut ini :

$$\eta_{SE} = \log_2\left(1 + \frac{\frac{\{E[s(n)x_i^*(n)]\}^2}{P_{oav}}}{P_{nc} + P_{s_av} - \frac{\{E[s(n)x_i^*(n)]\}^2}{P_{oav}}}\right) \quad (14)$$

Pemodelan sistem secara umum diilustrasikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Simulasi Sistem

Blok diagram pada Gambar 3 merupakan sistem yang dirancang pada penelitian ini. Rancangan sistem dibuat untuk mengetahui alur dari penelitian yang akan dilakukan. Pertama-tama, dibangkitkan input data secara random pada sisi transmitter dengan jumlah subcarrier sebanyak 1024, sehingga data input yang diberikan sejumlah 10.240.000 bit (10.000 simbol). Pada Gambar 3, data input yang dibangkitkan secara random akan dilakukan modulasi menggunakan 16-QAM. Setelah itu hasil dari modulasi akan diolah untuk dilakukan reduksi menggunakan teknik SLM. Pada blok ini setiap simbol hasil modulasi akan disalin sebanyak jumlah subblok. Setiap simbol dikalikan dengan faktor fase di setiap subblok. Hasil

perkalian faktor fase di setiap subblok kemudian dilakukan proses IFFT dan diseleksi hingga akhirnya sinyal yang memiliki PAPR terkecil akan terpilih dan ditampilkan pada kurva CCDF. Kemudian hasil dari pengolahan pada SLM akan digunakan untuk menghitung efisiensi spektrum.

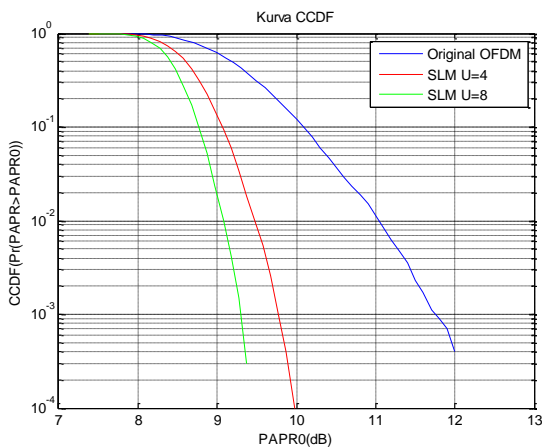
- 1) Parameter yang digunakan antara lain:
 - Jumlah maksimum simbol yang dibangkitkan adalah 1000 simbol
 - Jenis modulasi yang digunakan adalah 16-QAM
 - Jumlah *subcarrier* yang digunakan adalah 1024
 - Jumlah subblok yang digunakan pada SLM adalah 4 dan 8
- 2) Bahasa pemrograman yang digunakan adalah MATLAB

III. HASIL DAN DISKUSI

Dalam subbab ini, akan dijelaskan mengenai pengujian kinerja teknik SLM, pengujian kinerja teknik SLM Riemann, pengujian pengaruh kinerja teknik SLM dan SLM Riemann terhadap efisiensi spektrum pada sistem OFDM dengan jumlah subblok yang berbeda.

A. Pengujian Kinerja Teknik SLM dalam Mereduksi PAPR pada Sistem OFDM dengan Jumlah Subblok yang Berbeda

Pengujian dilakukan terhadap hasil kinerja sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dibandingkan dengan kinerja sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR SLM dengan parameter berbeda jumlah subblok pada metode SLM. Hasil dari pengujian sistem berupa kurva CCDF yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kinerja Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM dengan Subcarrier 1024 serta Subblok 4 dan 8

Parameter pengujian kinerja metode yaitu membangkitkan 10000 simbol, menggunakan 1024 subcarrier, menggunakan jenis modulasi 16-QAM, serta jumlah subblok sebanyak 4 dan 8. Di sini, dilakukan perbandingan antara sinyal OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR, sinyal SLM subblok 4 dan subblok 8.

TABEL I
 NILAI HASIL SIMULASI TEKNIK REDUKSI SLM BERBEDA JUMLAH SUBBLOK DENGAN SUBCARRIER 1024

Nilai PAPR (dB) pada pengamatan $\Pr(\text{PAPR} > \text{PAPR0}) 10^{-3}$	
Original OFDM	11.7
SLM subblok 4	9.775
SLM subblok 8	9.275

Tabel 1 menunjukkan data hasil perbandingan kinerja antara sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dengan sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR yaitu SLM dengan jumlah subblok yang berbeda yakni sebanyak 4 dan 8. Sebagai contoh pada saat probabilitas 1×10^{-3} , analisa dan hasilnya sebagai berikut. Pada skema kinerja sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR yang ditunjukkan oleh kurva berwarna biru maka pada probabilitas 1×10^{-3} memberikan nilai PAPR sebesar 11.7 dB. Untuk kinerja teknik SLM dengan jumlah subblok 4 yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah memberikan nilai PAPR sebesar 9.775 dB pada probabilitas 1×10^{-3} , sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja metode SLM dengan subblok 4 dapat mereduksi nilai PAPR sebesar 1.925 dB pada sistem OFDM. Kemudian untuk kinerja teknik SLM dengan jumlah subblok 8 yang ditunjukkan oleh kurva berwarna hijau memberikan nilai PAPR sebesar 9.275 dB pada probabilitas 1×10^{-3} . Hal ini menyatakan kinerja teknik reduksi SLM dengan jumlah subblok 8 dapat mereduksi tinggi PAPR sebesar 2.425 dB.

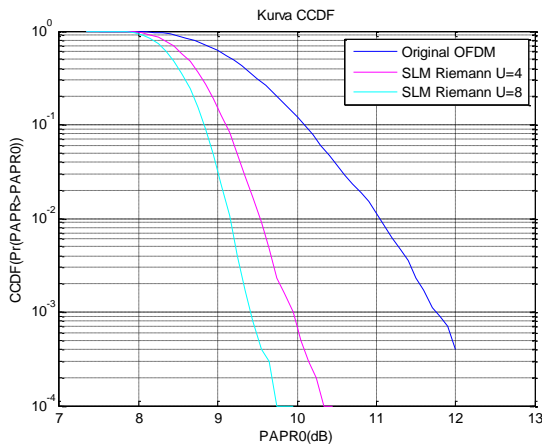
Berdasarkan data hasil simulasi di atas terlihat bahwa teknik reduksi SLM cukup baik dalam mereduksi nilai PAPR dalam sistem OFDM. Penggunaan jumlah subblok berpengaruh terhadap kinerja teknik reduksi SLM. Teknik reduksi SLM dengan subblok 8 dapat mereduksi tinggi PAPR sebesar 0.5 dB lebih baik dibandingkan menggunakan subblok 4. Kinerja teknik reduksi akan semakin baik apabila jumlah subblok yang digunakan semakin banyak. Hal tersebut disebabkan karena adanya perkalian faktor fase yang juga semakin banyak dan peluang untuk mendapatkan PAPR terkecil juga semakin banyak.

B. Pengujian Kinerja Teknik SLM Riemann dalam Mereduksi PAPR pada Sistem OFDM dengan Jumlah Subblok yang Berbeda

Pengujian dilakukan terhadap hasil kinerja sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dibandingkan dengan kinerja sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR SLM Riemann dengan parameter berbeda jumlah subblok pada metode SLM Riemann. Hasil dari pengujian sistem berupa kurva CCDF yang dapat dilihat pada Gambar 5.

TABEL II
 NILAI HASIL SIMULASI TEKNIK REDUKSI SLM RIEMANN BERBEDA JUMLAH SUBBLOK DENGAN SUBCARRIER 1024

Nilai PAPR (dB) pada pengamatan $\Pr(\text{PAPR} > \text{PAPR0}) 10^{-3}$	
Original OFDM	11.7
SLM subblok 4	9.945
SLM subblok 8	9.445



Gambar 5. Kinerja Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM Riemann Berbeda Jumlah Subblok dengan Subcarrier 1024

Tabel 2 menunjukkan data hasil perbandingan kinerja antara sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dengan sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR yaitu SLM Riemann dengan berbeda jumlah subblok. Sebagai contoh pada saat probabilitas 1×10^{-3} , analisa dan hasilnya sebagai berikut. Pada skema kinerja sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR yang ditunjukkan oleh kurva berwarna biru maka pada probabilitas 1×10^{-3} memberikan nilai PAPR sebesar 11.7 dB.

Untuk kinerja teknik SLM Riemann dengan jumlah subblok 4 ditunjukkan oleh kurva berwarna magenta memberikan nilai PAPR sebesar 9.945 dB pada probabilitas 1×10^{-3} , sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja metode SLM Riemann dengan subblok 4 dapat mereduksi nilai PAPR sebesar 1.755 dB pada sistem OFDM. Kemudian untuk kinerja teknik SLM Riemann dengan jumlah subblok 8 yang ditunjukkan oleh kurva berwarna biru muda memberikan nilai PAPR pada probabilitas 1×10^{-3} sebesar 9.445 dB, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja metode SLM Riemann dengan subblok 8 dapat mereduksi nilai PAPR sebesar 2.255 dB pada sistem OFDM. Hal ini menyatakan kinerja teknik reduksi SLM Riemann dengan subblok 8 dapat mereduksi tinggi PAPR sebesar 0.5 dB lebih baik dibandingkan menggunakan subblok 4. Berdasarkan data hasil simulasi di atas terlihat bahwa kinerja teknik reduksi akan semakin baik apabila jumlah subblok yang digunakan semakin banyak. Hal tersebut disebabkan karena adanya perkalian faktor fase yang juga semakin banyak dan peluang untuk mendapatkan PAPR terkecil juga semakin banyak.

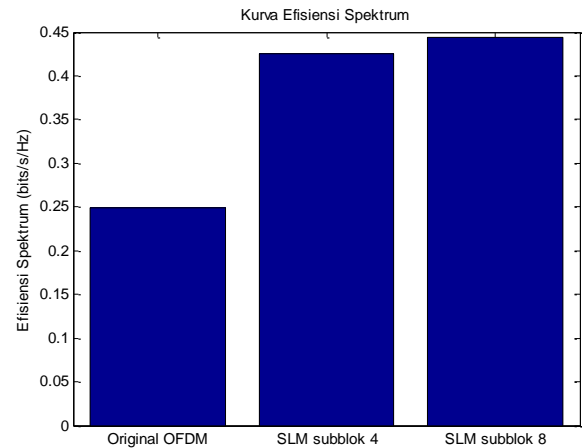
C. Pengujian Pengaruh Kinerja Teknik SLM dalam Mereduksi PAPR pada Sistem OFDM dengan Jumlah Subblok yang Berbeda Terhadap Efisiensi Spektrum

Pengujian dilakukan terhadap pengaruh hasil kinerja metode reduksi PAPR yakni SLM dengan jumlah subblok 4 dan 8 terhadap nilai efisiensi spektrum. Parameter pengujian kinerja metode yaitu membangkitkan sebanyak 100 simbol, menggunakan 1024 subcarrier serta jumlah subblok sebanyak 4 dan 8. Di sini, dilakukan perbandingan antara efisiensi spektrum pada sistem OFDM tanpa teknik reduksi, dengan teknik reduksi SLM subblok 4 dan subblok 8. Hasil pengujian

berupa kurva efisiensi spektrum dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 6. Nilai yang tertera pada diagram batang merupakan nilai rata-rata dari 100 simbol yang dibangkitkan.

TABEL III
 NILAI HASIL SIMULASI EFISIENSI SPEKTRUM TEKNIK REDUKSI SLM
 SUBBLOK 4 DAN 8

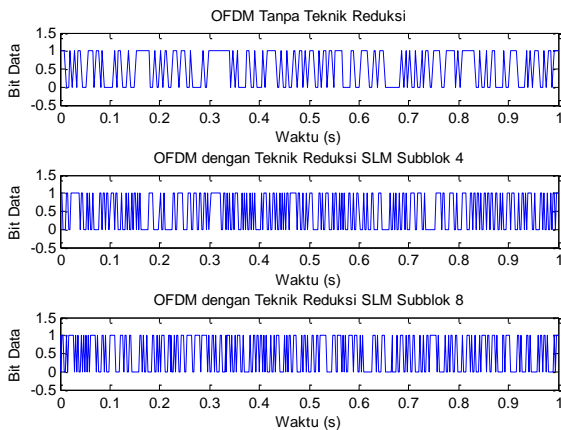
	Efisiensi Spektrum (bits/s/Hz)	Prosentase Efisiensi Spektrum
Original OFDM	0.249	-
SLM subblok 4	0.425	70.68%
SLM subblok 8	0.444	78.31%



Gambar 6. Perbandingan Nilai Efisiensi Spektrum Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM Subblok 4 dan 8

Tabel 3 menunjukkan data hasil perbandingan nilai efisiensi spektrum antara sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dengan sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR yaitu SLM dengan jumlah subblok 4 dan 8. Sistem OFDM tanpa teknik reduksi menghasilkan nilai data rate sebesar 0.249 bit/s/Hz. Sementara untuk teknik SLM dengan subblok 4 menghasilkan nilai data rate sebesar 0.425 bit/s/Hz, sehingga nilainya lebih tinggi dari sistem OFDM sebesar 0.176 bit/s/Hz. Sedangkan untuk teknik SLM dengan subblok 8 menghasilkan nilai data rate sebesar 0.444 bit/s/Hz. Nilai tersebut lebih tinggi sebesar 0.195 bit/s/Hz dari nilai data rate sistem OFDM tanpa teknik reduksi. Dari nilai data rate yang diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai efisiensi spektrum. Teknik SLM dengan subblok 4 menghasilkan nilai efisiensi spektrum sebesar 70.68 %. Sedangkan untuk teknik SLM dengan subblok 8 menghasilkan nilai efisiensi spektrum sebesar 78.31 %, yang berarti mampu menaikkan nilai efisiensi spektrum sebesar 7.63 % lebih baik dari teknik SLM dengan subblok 4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik reduksi SLM mampu membuat penggunaan spektrum menjadi lebih efisien. Selain itu, semakin banyak jumlah subblok yang digunakan pada teknik reduksi SLM maka nilai efisiensi spektrum yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Pada Gambar 7 ditunjukkan perbandingan data rate antara sistem OFDM tanpa teknik reduksi serta sistem OFDM menggunakan teknik reduksi SLM dengan subblok 4 dan 8.

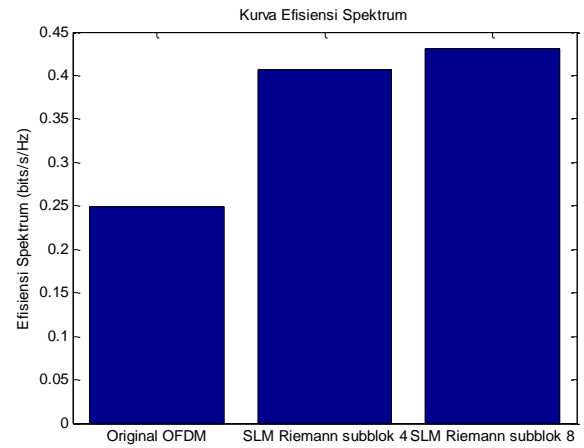


Gambar 7. Perbandingan *Data Rate* Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM Subblok 4 dan 8

Efisiensi spektrum menunjukkan besarnya data rate untuk setiap 1 Hz bandwidth. Sebagai contoh, pada Gambar 7 merupakan data rate untuk 1 MHz bandwidth. Nilai data rate pada sistem OFDM tanpa teknik reduksi adalah 249 bit/s, sedangkan nilai data rate dengan menggunakan teknik reduksi SLM subblok 4 mencapai 425 bit/s. Angka tersebut menunjukkan bahwa untuk setiap 1 MHz bandwidth, data rate meningkat dari 249 bps menjadi 425 bps dengan teknik reduksi SLM subblok 4. Dengan demikian maka semakin banyak jumlah bit informasi yang bisa dikirimkan dalam satu detik pada setiap 1 Hz bandwidth.

D. Pengujian Pengaruh Kinerja Teknik SLM Riemann dalam Mereduksi PAPR pada Sistem OFDM dengan Jumlah Subblok yang Berbeda Terhadap Efisiensi Spektrum

Pengujian dilakukan terhadap pengaruh hasil kinerja metode reduksi PAPR yakni SLM Riemann dengan jumlah subblok 4 dan 8 terhadap nilai efisiensi spektrum. Parameter pengujian kinerja metode yaitu membangkitkan sebanyak 100 simbol, menggunakan 1024 subcarrier serta jumlah subblok sebanyak 4 dan 8. Hasil pengujian berupa kurva efisiensi spektrum dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 8. Di sini, dilakukan perbandingan antara kurva efisiensi spektrum pada sistem OFDM tanpa teknik reduksi, dengan teknik reduksi SLM Riemann subblok 4 dan subblok 8. Pengambilan nilai efisiensi spektrum yang tertera pada diagram batang berasal dari nilai rata-rata dari sebanyak 100 simbol yang dibangkitkan.



Gambar 8. Perbandingan Nilai Efisiensi Spektrum Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM Riemann Subblok 4 dan 8

Tabel 4 menunjukkan data hasil perbandingan nilai efisiensi spektrum antara sistem OFDM tanpa menggunakan metode reduksi PAPR dengan sistem OFDM menggunakan metode reduksi PAPR yaitu SLM Riemann dengan jumlah subblok 4 dan 8. Sistem OFDM tanpa teknik reduksi menghasilkan nilai data rate sebesar 0.249 bit/s/Hz. Sementara untuk teknik SLM Riemann dengan subblok 4 menghasilkan nilai data rate sebesar 0.406 bit/s/Hz, sehingga nilainya lebih tinggi dari sistem OFDM sebesar 0.157 bit/s/Hz. Sedangkan untuk teknik SLM Riemann dengan subblok 8 menghasilkan nilai data rate sebesar 0.43 bit/s/Hz. Nilai tersebut lebih tinggi sebesar 0.181 bit/s/Hz dari nilai data rate sistem OFDM tanpa teknik reduksi.

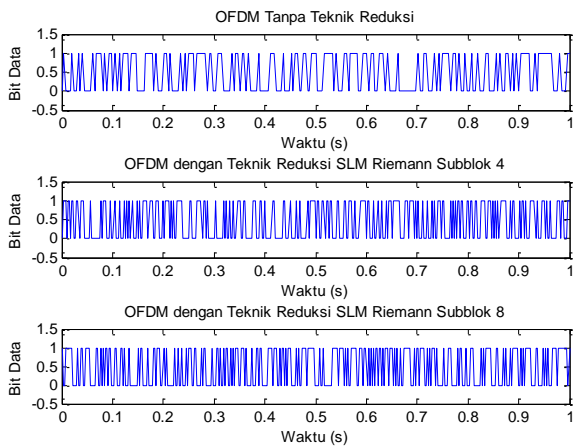
Dari nilai data rate yang diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai efisiensi spektrum. Teknik SLM Riemann dengan subblok 4 menghasilkan nilai efisiensi spektrum sebesar 63.05 %. Sedangkan untuk teknik SLM Riemann dengan subblok 8 menghasilkan nilai efisiensi spektrum sebesar 72.69 %, yang berarti mampu menaikkan nilai efisiensi spektrum sebesar 9.64 % lebih baik dari teknik SLM Riemann dengan subblok 4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik reduksi SLM Riemann mampu membuat penggunaan spektrum menjadi lebih efisien. Selain itu, semakin banyak jumlah subblok yang digunakan pada teknik reduksi SLM Riemann maka nilai efisiensi spektrum yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Efisiensi spektrum menunjukkan besarnya data rate untuk setiap 1 Hz bandwidth. Jika pada awalnya data rate pada sistem OFDM tanpa teknik reduksi hanya mencapai 0.249 bit/s, maka dengan teknik SLM Riemann data rate akan semakin tinggi. Artinya, semakin banyak jumlah bit informasi yang bisa dikirimkan dalam satu detik pada setiap 1 Hz bandwidth.

Pada Gambar 9 menunjukkan perbandingan data rate antara sistem OFDM tanpa teknik reduksi serta sistem OFDM menggunakan teknik reduksi SLM Riemann dengan subblok 4 dan 8.

TABEL IV
 NILAI HASIL SIMULASI EFISIENSI SPEKTRUM TEKNIK REDUKSI SLM RIEMANN SUBBLOK 4 DAN 8

	Efisiensi Spektrum (bits/s/Hz)	Prosentase Efisiensi Spektrum
Original OFDM	0.249	-
SLM subblok 4	0.406	63.05%
SLM subblok 8	0.43	72.69%



Gambar 9. Perbandingan *Data Rate* Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM Riemann Subblok 4 dan 8

Sebagai contoh, pada Gambar 9 merupakan data rate untuk 1 MHz bandwidth. Nilai data rate pada sistem OFDM tanpa teknik reduksi adalah 249 bit/s, sedangkan nilai data rate dengan menggunakan teknik reduksi SLM Riemann dengan subblok 4 mencapai 406 bit/s. Angka tersebut menunjukkan bahwa untuk setiap 1 MHz bandwidth, data rate meningkat dari 249 bps menjadi 406 bps dengan teknik reduksi SLM Riemann subblok 4. Dengan demikian maka semakin banyak jumlah bit informasi yang bisa dikirimkan dalam satu detik pada setiap 1 Hz bandwidth.

IV. KESIMPULAN

Teknik SLM dan SLM Riemann terbukti mampu memperbaiki kinerja reduksi PAPR pada sistem OFDM. Dalam hal ini, semakin banyak jumlah subblok yang digunakan maka perkalian kombinasi faktor fase semakin banyak dan peluang untuk mendapatkan PAPR terkecil juga lebih banyak, sehingga nilai reduksi PAPR yang dihasilkan akan semakin baik. Penerapan teknik reduksi SLM dan SLM Riemann yang mampu menurunkan nilai PAPR dapat menyebabkan nilai efisiensi spektrum semakin meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami peneliti dari Institut Teknologi Telkom Surabaya mengucapkan terima kasih kepada rekan peneliti dari Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas kesempatan yang telah diberikan dalam penelitian bersama ini.

REFERENSI

[1] H. G. Ryu and Y. H. Lee, "A New Combined Method of the Block Coding and Predistortion for the non Linier Distortion Compensation," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 49, pp. 27–31, Feb. 2003.
[2] E. Costa, M. Midrio, and S. Pupolin, "Impact of Amplifier non Linierities on OFDM Transmission System Performance," IEEE Comm. Letters, vol. 3, pp. 37–39, Feb. 1999.
[3] H. Ochiai and H. Imai, "Performance of the Deliberate Clipping with Adaptive Symbol Selection for Strictly Band-limited OFDM Systems," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 18, no. 11, Nov. 2000.

[4] S. J. Heo, H. S. Noh, J. S. No, and D. J. Shin, "A modified SLM Scheme with Low Complexity for PAPR Reduction of OFDM Systems," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 53, no. 4, pp. 804–808, Dec. 2007.
[5] A. Alavi, C. Tellambura, and I. Fair, "PAPR Reduction of OFDM Signals using Partial Transmit Sequence: An Optimal Approach using Sphere Decoding," IEEE Trans. Communications Letters, vol. 9, no. 11, pp. 982–984, Nov. 2005.
[6] S. Cha, M. Park, S. Lee, K. Bang, and D. Hong, "A New PAPR Reduction Technique for OFDM Systems Using Advanced Peak Windowing Method," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 54, no. 2, May 2008.
[7] T. Jiang, W. Xiang, H. H. Chen, and Q. Ni, "Multicast Broadcast Services Support in OFDMA-based WiMAX Systems," IEEE Commun. Mag., vol. 45, no. 8, pp. 78–86, Aug. 2007.
[8] A. Z. Khasin, Y. Moeghiarto, "Perancangan Zero Forcing Equalizer dengan Modulasi QAM Berbasis Perangkat Lunak", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya- ITS, 2008.
[9] S. Albdran, A. Alshammari, M. Matin, "Clipping and Filtering Technique for Reducing PAPR in OFDM", IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Sep. 2012.
[10] P. N. Mandayam, "Wireless Communication Technologies", Rutgers University, 2002.
[11] T. Jiang and Y. Wu, "An overview: Peak-to-average Power Ratio Reduction Techniques for OFDM Signals," IEEE Trans. Broadcast., vol. 54, no. 2, pp. 257–268, Jun. 2008.