

ANALISIS REDUKSI PAPR PADA SISTEM VLC OFDM DENGAN METODE SSLM

PAPR REDUCTION ANALYSIS ON VLC OFDM SYSTEM WITH SSLM METHOD

Rana Nuriadnyana¹, Arfianto Fahmi², Budi Syihabuddin³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rana.nrd@gmail.com, ²arfianto.fahmi@gmail.com, ³budisyihabb@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada masa sekarang ini, karena banyaknya komunikasi *wireless* maka penggunaan frekuensi di dunia ini semakin terbatas. VLC bisa menjadi solusi dalam komunikasi nirkabel dikarenakan semakin terbatasnya frekuensi yang tersedia di dunia ini dan juga beberapa keuntungan yang dimiliki oleh VLC. penggunaan OFDM bisa meningkatkan kecepatan data pada sistem VLC ini. OFDM memiliki kelemahan, salah satunya adalah Peak to Power Average (PAPR) yang tinggi. Salah satu metode efektif yang telah banyak digunakan untuk mereduksi nilai PAPR adalah Conventional Selected Mapping (CSLM). Metode CSLM memanfaatkan sensitifitas PAPR terhadap rotasi fasa dengan mengkalikan sinyal yang akan masuk ke IFFT terhadap rotasi fasa yang berbeda lalu memilih sinyal dengan nilai PAPR yang terendah. Namun, untuk mendeteksi sinyal yang akan dipilih, metode CSLM membutuhkan transmisi Side Information (SI). Metode yang dinamakan Symmetric Selected Mapping (SSLM) telah diperkenalkan untuk mereduksi nilai PAPR di sistem DCO-OFDM tanpa mengorbankan efisiensi bandwidth yang disebabkan oleh transmisi SI. Teknik pada SSLM mengkalikan sinyal yang akan dikirim dengan magnitude tambahan dan rotasi fasa yang berbeda. Pada jurnal ini mendesain OFDM pada VLC lalu menganalisis hasil reduksi nilai PAPR dan BER dengan metode SSLM. Dari hasil simulasi didapatkan nilai PAPR menggunakan CSLM dan SSLM dapat mereduksi PAPR sebesar 2,8 dB.

Kata kunci : VLC, OFDM, DCO-OFDM, PAPR, SSLM

Abstract

At present, due to the amount of wireless communication, the frequency usage in this world is limited. VLC can be an increasingly limited solution in wireless communication available in the world and also some of the benefits supported by VLC. the use of OFDM can increase the speed of data on this VLC system. OFDM has weaknesses, one of which is high Peak to Power Average (PAPR). One effective method that has been widely used to reduce the value of PAPR is Conventional Selected Mapping (CSLM). The CSLM method uses PAPR sensitivity to phase rotation by multiplying the signal that will enter IFFT against different phase rotations and then selects the signal with the lowest PAPR value. However, to replace the signal to be selected, the CSLM method requires the transmission of Side Information (SI). The method called Symmetric Selected Mapping (SSLM) has given approval to reduce PAPR values in DCO-OFDM systems without increasing the efficiency of the tape produced by SI transmission. The technique in the SSLM multiplies the signals that will be sent with additional magnitudes and different phase rotations. In this journal designing OFDM on VLC then analyzing the results of the PAPR value reduction and BER using the SSLM method. From the simulation results obtained the PAPR value using CSLM and SSLM can reduce PAPR by 2,8 dB.

Keywords: VLC, OFDM, DCO-OFDM, PAPR, SSLM

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia telekomunikasi semakin meningkat pada masa sekarang ini, terutama dalam komunikasi nirkabel. Dalam komunikasi nirkabel, penggunaan frekuensi radio masih sering digunakan untuk mengirimkan sinyal informasi. Tetapi, karena keterbatasan frekuensi radio maka terdapat solusi lain dengan menggunakan komunikasi cahaya salah satunya yaitu Visible Light Communication (VLC) [1]. Penggunaan VLC dipertimbangkan untuk generasi komunikasi *wireless* selanjutnya dikarenakan kelebihanannya seperti keamanan yang tinggi, kemampuan lokalisasi, dan

lisensi spektrum bebas [1]. VLC mempunyai dua kekurangan utama, yaitu bandwidth yang terbatas pada LED dan multipath propagasi [2]. Untuk mendapatkan kecepatan data yang lebih tinggi penggunaan OFDM pada VLC dapat dipertimbangkan [3]. Akan tetapi, untuk langsung memodulasi intensitas sumber optik (seperti LED, dll), diperlukan sinyal positif yang real [5]. Terdapat beberapa skema OFDM yang dapat diimplementasikan pada VLC seperti ACO-OFDM, DCO-OFDM, Flip OFDM [4][5]. Pada Jurnal kali ini skema sistem yang digunakan ialah DCO-OFDM. Skema pada DCO-OFDM ialah dengan menambahkan bias dc agar sinyal yang dikirim menjadi positif [5]. Penggunaan OFDM ini memiliki beberapa kelemahan yang salah satunya yaitu memiliki nilai Peak to Average Power Ratio (PAPR) yang tinggi [6]. Tingginya nilai pada PAPR mengakibatkan RF amplifier sebagai amplifier harus mengakomodasi variasi amplitudo yang besar dan harus linier yang membuat amplifier tidak dapat beroperasi dengan efisiensi yang tinggi [9] [10]. Sudah banyak penggunaan metode yang telah digunakan untuk menurunkan nilai PAPR pada OFDM [7][8][9][10]. Salah satu metode yang efektif untuk menurunkan nilai PAPR adalah SLM [7][11]. Namun karena transmisi sinyal VLC harus real dan positive, beberapa metode konvensional PAPR reduksi tidak dapat diaplikasikan ke sistem VLC [12]. Pada jurnal ini, penulis mengacu pada paper [4] dimana Wei-Wen Hu dan Da-Huei Lee menggunakan metode SSLM untuk mereduksi PAPR. Namun penulis memvariasikan subcarrier dan QAM, menginisiasikan bentuk ruangan untuk kanal VLC, dan tidak terdapat Blind SI detection dipenerima. Metode SSLM ini hampir sama dengan metode SLM yang mana sinyal yang dikirim dikalikan dengan rotasi fasa yang berbeda namun pada SSLM terdapat penambahan magnitudo yang didesain dengan simetri dan periodik [12]. Maka dari itu, pada jurnal ini penulis juga akan membandingkan hasil PAPR dan BER pada SSLM dengan metode Conventional SLM (CSLM), clipping, dan sebelum menggunakan metode.

2. Konsep Dasar

OFDM memiliki berbagai keuntungan yang telah digunakan pada masa sekarang ini. Namun, terdapat beberapa kekurangan yang masih ada pada OFDM. Yang mana, OFDM memiliki masalah nilai puncaknya lebih tinggi dibanding daya rata-ratanya yang biasa disebut PAPR. Pada jurnal ini, analisis reduksi PAPR dilakukan dengan menggunakan teknik SSLM pada sistem DCO-OFDM pada VLC.

A. DCO-OFDM

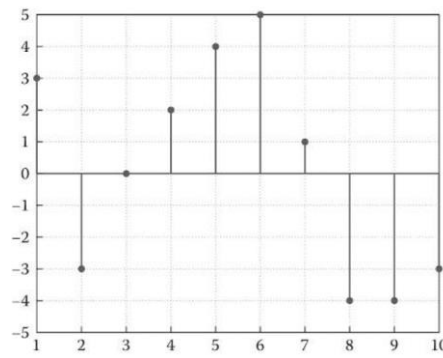
Pada Untuk mendapatkan nilai real pada sinyal OFDM cara yang termudahnya ialah dengan DCO-OFDM. DCO-OFDM menambahkan bias DC ke sinyal OFDM bipolar. Agar memenuhi nonnegatifitas dibutuhkan bias DC yang sama dengan negative amplitudo maksimum dari sinyal OFDM [2]. Perbandingan sampel waktu antarabipolar OFDM dengan DCO-OFDM terlihat pada gambar 1 dan gambar 2. pada gambar tersebut terlihat bahwa amplitudo di DCO-OFDM tidak ada yang memiliki nilai negative, berbeda dengan bipolar OFDM yang memiliki nilai amplitudo negatif. DCO-OFDM dirumuskan sebagai berikut [13]:

$$SDCO\text{-}OFDM(t) = SOFDM(t) + SDC + n(SDC) \approx SOFDM(t) + SDC \quad (1)$$

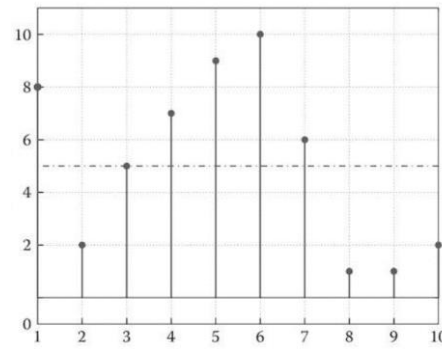
Dimana $n(SDC)$ merupakan clipping noise dan SDC merupakan DC bias. *Clipping noise* bisa diabaikan saat DC bias sudah cukup tinggi. DC bias berbanding lurus dengan energi dari $SOFDM(t)$ [2]:

$$SDC = \mu \sqrt{E\{SOFDM^2(t)\}} \quad (2)$$

yang mana $E\{SOFDM^2(t)\}$ merupakan energi dari sinyal. Dengan nilai dari k , nilai DC bias dapat diubah kedalam satuan desibel dengan perumusan $10\log(k^2+1)$ [2].



Gambar 1. Bipolar OFDM



Gambar 2. DCO-OFDM

B. Line of Sight pada VLC

Secara umum, sistem OWC dalam ruangan menggunakan LED sebagai sumber pengiriman dan photodetektor yang memiliki area yang luas. Distribusi sudut dari pola intensitas radiasi dimodelkan menggunakan intensitas radiasi Lambertian umum dengan distribusi berikut [3].

$$R_0(\phi) = \begin{cases} \frac{(m_1+1)}{2\pi} \cos^{m_1}(\phi) & \text{for } \phi \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}] \\ 0 & \text{for } \phi \geq \pi/2 \end{cases} \quad (3)$$

Dimana m_1 merupakan jumlah Lambert's mode yang menunjukkan direktivitas beam sumber, $\phi = 0$ merupakan sudut dari maximum power radiasi. Urutan m_1 dari Lambertian emisi terkait dengan semiangle dari LED dengan daya setengah $\Phi_{1/2}$ dirumuskan sebagai berikut [3].

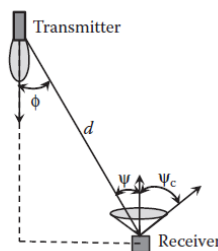
$$m_1 = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (4)$$

Detektor dimodelkan sebagai area aktif A_r yang mengumpulkan insiden radiasi dengan sudut ψ lebih kecil dibandingkan pendeteksi FOV. Area pendeteksi untuk mengumpulkan insiden radiasi yang efektif dirumuskan sebagai berikut [3].

$$A_{eff}(\psi) = \begin{cases} A_r \cos \psi & 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0 & \psi > \pi/2 \end{cases} \quad (5)$$

Meskipun idealnya luas area detektor akan cocok untuk ruangan OWC untuk mengumpulkan power sebanyak mungkin, namun dalam prakteknya akan menyebabkan sejumlah masalah seperti peningkatan biaya, peningkatan kapasitansi junction dan dengan demikian bandwidth penerima menurun, dan peningkatan noise di penerima. Oleh karena itu, penggunaan nonimaging konsentrator adalah solusi dalam biaya yang murah untuk meningkatkan keefektifan area dalam mengkoleksi gain optik dari nonimaging konsentrator yang ideal memiliki internal yang indeks bias n adalah

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c} & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 3. Geometri propagasi LOS model

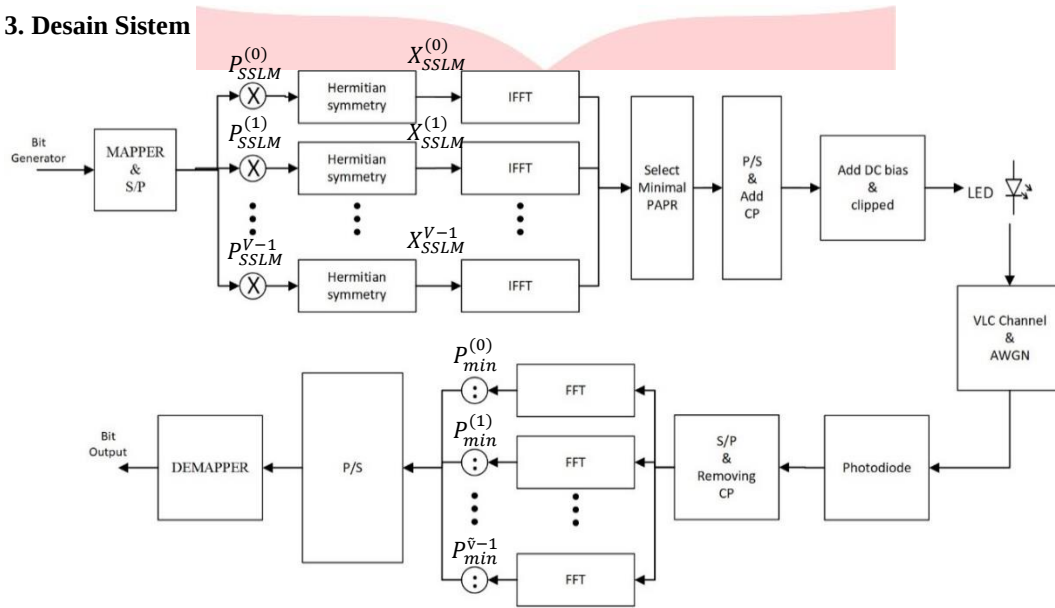
Mempertimbangkan link OWC dengan sumber Lambertian, penerima dengan optik band-pass filter pada penerima $T_s(\psi)$ dan konsentrator nonimaging dari gain $g(\psi)$, gain DC untuk penerima yang terletak pada jarak d dan sudut ϕ yang berhubungan dengan pemancar seperti pada Gambar 3 dapat dirumuskan sebagai [3].

$$H_{LOS}(0) = \begin{cases} \frac{A_r(m_1+1)}{2\pi d^2} \cos^{m_1}(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (7)$$

Power pada penerima dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{r-LOS} = H_{LOS}(0) P_t \quad (8)$$

3. Desain Sistem



Gambar 4. Sistem desain DCO-OFDM

A. Symmetric Selected Mapping (SSLM)

Teknik *Symmetric Selected Mapping* (SSLM) merupakan teknik yang bisa digunakan untuk mereduksi nilai PAPR tanpa menggunakan SI. Pada Gambar 4 Menunjukkan skema sederhana pada SSLM pada DCO-OFDM. $\mathbf{X} = x(k)_{k=0}^{\frac{N}{2}-1}$ dimana N adalah jumlah *subcarrier*, merupakan data hasil keluaran dari mapper yang diubah dari bentuk serial ke paralel. Lalu, blok data $\mathbf{X}$ dikalikan dengan setiap salah satu dari V dengan urutan fasa yang berbeda seperti pada (13). Nilai maksimum V untuk kandidat sinyal yang akan dikirim seperti pada (12) dimana, C_K^M merupakan koefisien binomial [12]

$$V = C_S^{\frac{N}{4}-1} \quad (12)$$

Pada teknik SSLM elemen k di setiap urutan fasa didefinisikan seperti pada (13) [12].

$$P_{SSLM}^v(k) = A_k^{(v)} e^{j\phi_k^{(v)}} \quad (13)$$

Dimana, $A_k^{(v)}$ merupakan parameter bernilai real dan lebih besar atau sama dengan satu. Untuk memastikan sinyal mendapatkan nilai yang real pada sinyal domain waktu, penambahan magnitude dan faktor rotasi fasa juga dibatasi dengan matriks Hermitian simetri sebagai $A_{N-k}^{(v)} = A_k^{(v)}$, $e^{j\phi_{N-k}^{(v)}} = e^{j\phi_k^{(v)}}$. Penggunaan magnitude tambahan memungkinkan penerima mendeteksi kandidat sinyal tanpa SI sedangkan, rotasi fasa untuk mereduksi PAPR. Pada teknik SSLM, untuk meningkatkan

X	0	$X(1)$	$X(2)$	$X(3)$	$X(4)$	$X(5)$	$X(6)$	$X(7)$	0	$\check{X}(7)$	$\check{X}(6)$	$\check{X}(5)$	$\check{X}(4)$	$\check{X}(3)$	$\check{X}(2)$	$\check{X}(1)$
	↓															
$X_{SSLM}^{(0)}, k=1$	0	$AX_{SSLM}^{(0)}(1)$	$X_{SSLM}^{(0)}(2)$	$X_{SSLM}^{(0)}(3)$	$X_{SSLM}^{(0)}(4)$	$X_{SSLM}^{(0)}(5)$	$X_{SSLM}^{(0)}(6)$	$AX_{SSLM}^{(0)}(7)$	0	$AX_{SSLM}^{(0)}(7)$	$X_{SSLM}^{(0)}(6)$	$X_{SSLM}^{(0)}(5)$	$X_{SSLM}^{(0)}(4)$	$X_{SSLM}^{(0)}(3)$	$X_{SSLM}^{(0)}(2)$	$AX_{SSLM}^{(0)}(1)$
$X_{SSLM}^{(1)}, k=2$	0	$X_{SSLM}^{(1)}(1)$	$AX_{SSLM}^{(1)}(2)$	$X_{SSLM}^{(1)}(3)$	$X_{SSLM}^{(1)}(4)$	$X_{SSLM}^{(1)}(5)$	$AX_{SSLM}^{(1)}(6)$	$X_{SSLM}^{(1)}(7)$	0	$\check{X}_{SSLM}^{(1)}(7)$	$AX_{SSLM}^{(1)}(6)$	$\check{X}_{SSLM}^{(1)}(5)$	$\check{X}_{SSLM}^{(1)}(4)$	$\check{X}_{SSLM}^{(1)}(3)$	$AX_{SSLM}^{(1)}(2)$	$\check{X}_{SSLM}^{(1)}(1)$

Gambar 4. Contoh kandidat sinyal untuk $N = 16$, $S = 1$, dan $K=1,2$

penerima mendeteksi SI, nilai penambahan magnitude didesain supaya berkala. Karenanya, nilai penambahan magnitude dari setiap kandidat sinyal menghasilkan desain yang simetri dan periodisitas. Contohnya, saat k ke- ($1 \leq k \leq N/4 - 1$) *subcarrier* dipilih untuk di amplifikasi, maka $(N/2 + k)$, $(N - k)$, dan $(N/2 - k)$ *subcarrier* yang sesuai diperkuat secara bersamaan untuk periodisitas dan Hermitian simetri. Gambar 5 menunjukkan contoh kandidat sinyal pada transmitter OFDM dengan $N=16$. Agar sinyal yang dikirim bernilai real pada domain waktu, maka sinyal di domain frekuensi terbatas pada Hermitian simetri sebelum melewati IFFT seperti pada (14) [12].

$$X_{SSLM}^v = \left[0, \{X_{SSLM}^v(k)\}_{k=1}^{\frac{N}{2}-1}, 0, \{\check{X}_{SSLM}^v(k)\}_{k=\frac{N}{2}}^N \right]^T \quad (14)$$

Dimana, $\check{X}$ merupakan hasil kompleks konjugasi dari X dan $X_{SSLM}^v(k) = X(k) \cdot P_{SSLM}^v(k)$. Dengan mengubah sinyal ke domain waktu menggunakan IFFT, nilai PAPR bisa didapatkan dengan rumus yang didefinisikan pada (15)[4]

$$PAPR = \frac{\max |X_{SSLM}^v(n)|^2}{E[|X_{SSLM}^v(n)|^2]} \quad (15)$$

Dimana, $X_{SSLM}^v(n)$ merupakan hasil keluaran dari IFFT. Lalu, Pada (16) kandidat sinyal yang akan dikirim ditentukan dari nilai PAPR yang paling minimum [12].

$$\tilde{v} = \arg \min_{v=0,1,\dots,V-1} (PAPR) \quad (16)$$

Namun, untuk mendapatkan nonnegatifitas sinyal pada sistem DCO-OFDM, DC-bias dan pemotongan sinyal harus ditambahkan sebelum sinyal dikirimkan. Setelah penambahan DC-bias dan pemotongan sinyal, sinyal yang akan dikirim dapat dirumuskan sebagai berikut [12].

$$\check{X}_{SSLM}^{(\tilde{v})}(n) = X_{SSLM}^{(\tilde{v})}(n) + DC_b + n(DC_b) \quad (17)$$

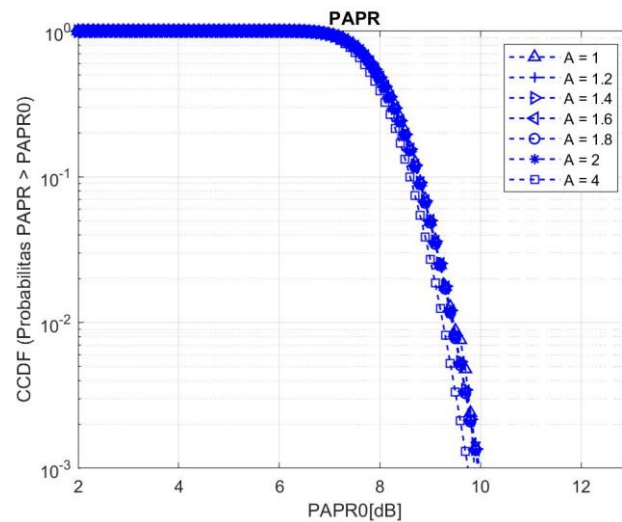
Pada penelitian ini nilai DC-bias yang digunakan ialah 16 dB. Lalu sinyal dikirim melalui kanal VLC dengan model propagasi LOS seperti pada penejelasan sebelumnya. Lalu sinyal diterima oleh photodetektor untuk diubah dari yang awalnya berupa cahaya ke bentuk elektrik. Lalu, *cyclic prefix* dan DC-bias dihapus pada sisi penerima. Pada FFT sinyal yang awalnya domain waktu diubah ke dalam domain frekuensi lalu sinyal yang diterima dibagi dengan phasa dan magnitudo tambahan untuk dikembalikan ke seperti semula. Dan sinyal didemodulasi untuk mendapatkan bit informasi saat dikirim.

4. Pembahasan

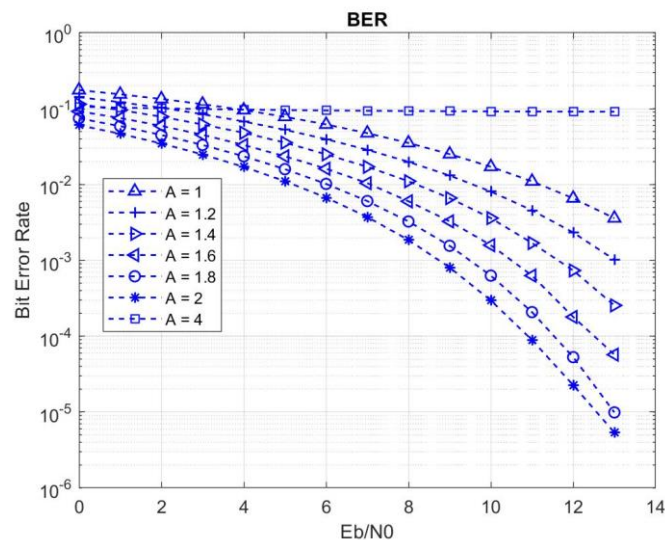
Pada jurnal ini dilakukan analisis performansi dari teknik SSLM dalam kemampuannya untuk mereduksi PAPR pada sistem VLC OFDM. Indikator performa sistem yang dianalisis yaitu PAPR dan BER. Analisis PAPR pada Jurnal ini dilakukan dengan menggunakan grafik CCDF yang didefinisikan sebagai probabilitas bahwa PAPR melebihi nilai batas tertentu (γ) seperti pada (17).

$$CCDF_{PAPR(X^{(v)})}(\gamma) = \text{Prob}[PAPR(X^{(v)}) > \gamma] \quad (17)$$

Sedangkan, analisis pada BER dilakukan dengan melihat ukuran bit error yang diterima pada sisi penerima.



Gambar 5. Perbandingan nilai reduksi PAPR teknik SSLM dengan nilai A berbeda



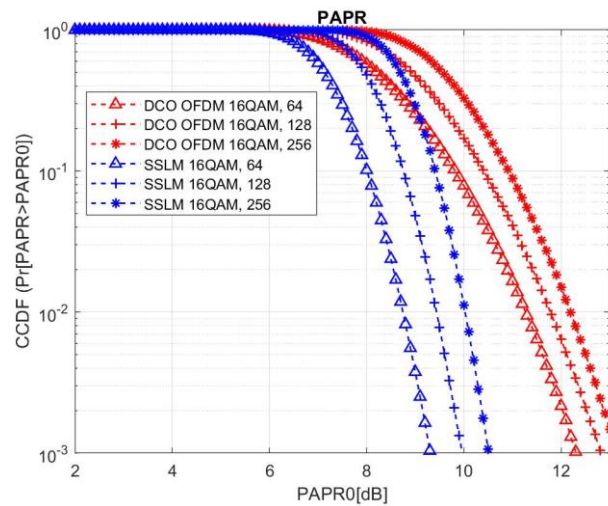
Gambar 6. Perbandingan nilai BER teknik SSLM dengan nilai A berbeda

A. Perbandingan PAPR dengan Variasi Nilai A

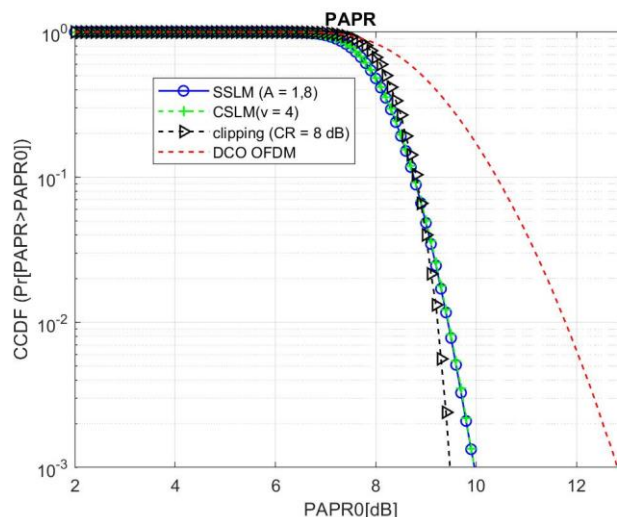
Pada gambar 5 merupakan teknik SSLM dengan membandingkan nilai penambahan magnitude $A = 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; \text{ dan } 4$. Dengan menggunakan nilai N yang sama dengan teknik CSLM dan nilai V yang dipakai adalah 4, terlihat bahwa hasil PAPR yang di dapatkan dari memvariasikan nilai A adalah sama yaitu sebesar 9,99 dB. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya bahwa perkalian penambahan magnitudo tidak terlalu berdampak signifikan pada reduksi PAPR. Namun, saat nilai $A = 4$, PAPR yang didapat ialah 9,98 dB. Hal ini karena daya rata-rata sinyal akan meningkat tinggi, dan untuk mendapat nilai PAPR daya rata-rata berbanding terbalik dengan nilai PAPR

B. Pebandingan BER dengan Variasi Nilai A

Pada analisis ini melakukan perbandingan nilai BER terhadap nilai E_b/N_0 dengan rentang 0 sampai 13 db. Pada simulasi ini kanal yang digunakan adalah pada kanal VLC dengan model propagasi LOS dan penambahan AWGN dan variasi nilai yang sama saat membandingkan papr. Pada gambar 6 terlihat bahwa pada kanal VLC dan AWGN maka nilai BER yang dihasilkan



Gambar 7. Perbandingan PAPR teknik SSIM dan original pada 16 QAM



Gambar 8. Perbandingan PAPR dengan Metode SSIM, CSLM, Clipping, dan Original OFDM

memiliki hasil yang berbeda. Semakin besar nilai magnitudo yang digunakan maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin bagus. Hal ini dikarenakan nilai magnitudo tambahan yang besar akan memiliki nilai daya rata-rata yang lebih besar. Namun, jika nilai $A = 4$, mendapatkan nilai BER yang tidak bagus. Karena, daya rata-rata meningkat tinggi sehingga pemotongan sinyal untuk mendapatkan nonnegatifitas akan semakin besar dan distorsi sinyal juga akan semakin besar.

C. Perbandingan PAPR dengan Variasi Subcarrier

Pada gambar 7 merupakan hasil simulasi teknik SSIM dan original DCO-OFDM dengan subcarrier yang berbeda pada modulasi 16 QAM. teknik SSIM memiliki nilai PAPR terendah saat subcarrier dengan NFFT 64 dan nilai perbaikan PAPR yaitu 3,05 dB paling besar yaitu saat 256 dengan perbaikan PAPR sebesar 3,5 dB Berdasarkan penjelasan diatas bahwa akibat dari penjumlahan *subcarrier* dari sinyal yang dikirimkan, terlihat bahwa semakin besar nilai *subcarrier* yang digunakan maka nilai PAPR yang didapat akan semakin besar.

D. Perbandingan PAPR dengan Metode yang Berbeda

Pada gambar 8 merupakan hasil perbandingan Teknik SSIM dengan Teknik yang lain, dari gambar tersebut terlihat bahwa metode clipping dengan *cclipping ratio* 8 dB merupakan metode yang paling efektif disbanding mereduksi PAPR dibandingkan dengan CSLM dan SSIM.

Perbandingan metode CSLM dan SSLM memiliki nilai reduksi PAPR yang relatif sama besar, dimana saat probabilitas 10^{-3} teknik CSLM dan SSLM memiliki nilai perbaikan PAPR sebesar 2,8 dB. Hal ini dikarenakan pada metode SSLM juga mengandalkan perubahan fasa dalam mereduksi PAPR. Sedangkan *clipping* memiliki perbaikan PAPR sebesar 3,3 dB

5. Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis pada Jurnal ini adalah penggunaan magnitudo tambahan yang berbeda pada teknik SSLM tidak berpengaruh signifikan saat $A = 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2$, yaitu 9,99 dB. Namun, saat $A = 4$ nilai PAPRnya ialah 9,98 dB. Dikarenakan, peningkatan daya rata-rata yang tinggi akibat penggunaan magnitudo tambahan yang tinggi. Pada teknik SSLM penambahan nilai magnitudo pada sistem DCO-OFDM dapat meningkatkan nilai BER saat $A = 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2$. Dimana, dengan $A = 1$ saat $E_b/N_0 = 13$ dB adalah $3,5 \times 10^{-3}$, saat $A = 1,2$ nilai BERnya adalah $1,2 \times 10^{-3}$, $A = 1,4$ BERnya adalah $2,5 \times 10^{-4}$, lalu saat $A = 1,6$ memiliki BER $5,5 \times 10^{-5}$, saat $A = 1,8$ memiliki BER sebesar 10×10^{-6} , dan saat $A = 2$ BERnya adalah $5,5 \times 10^{-6}$. Namun, saat nilai $A = 4$ nilai BER yang didapat tidak bagus yaitu sebesar 91×10^{-3} dB. Maka dari itu, perlunya pertimbangan dalam menentukan nilai magnitudo tambahan. Pada Teknik SSLM semakin besar nilai *subcarrier* yang digunakan maka nilai PAPR yang dihasilkan juga akan semakin besar. dengan modulasi 16 QAM pada saat *subcarrier* dengan NFFT = 64 memiliki nilai perbaikan sebesar 3,05 dB, lalu saat *subcarrier* dengan NFFT = 128 nilai perbaikan yang didapat adalah 2,9 dB, dan saat *subcarrier* dengan NFFT 256 memiliki nilai perbaikan sebesar 3,5 dB. Metode yang paling efektif dalam mereduksi PAPR ialah *clipping* dengan CR = 8 dB yang mendapat perbaikan sebesar 3,3 dB. Sedangkan metode CSLM dan SSLM mendapat perbaikan PAPR sebesar 2,8 dB.

Daftar Pustaka:

- [1] A. Jovicic, J. Li, and T. Richardson, "Visible light communication: Opportunities, challenges and the path to market," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 12, pp. 26–32, 2013.
- [2] Z. Ghassemlooy, L. Nero Alves, S. Zvánovec, and M. Khaligi, *Visible Light Communication Theory and Application (E-book).pdf*. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [3] Z. Ghassemlooy, W. Papoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications System and Channel Modelling with MATLAB*. boca raton: CRC Press, 2013.
- [4] S. Verma and S. Vashist, "Performance of DCO-OFDM in Optical Wireless Communication System," *Int. J. Innov. Res. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 06, pp. 85–91, 2016.
- [5] S. D. Dissanayake, S. Member, J. Armstrong, and S. Member, "Comparison of ACO-OFDM, DCO-OFDM and ADO-OFDM in IM/DD Systems," *J. Light. Technol.*, vol. 31, no. 7, pp. 1063–1072, 2013.
- [6] R. J. Baxley, "Analyzing Selected Mapping for Peak-to-Average Power Reduction in OFDM," Georgia Institute of Technology, 2005.
- [7] S. Y. Le Goff, S. S. Al-Samahi, B. K. Khoo, C. C. Tsimenidis, and B. S. Sharif, "Selected mapping without side information for PAPR reduction in OFDM," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3320–3325, 2009.
- [8] C. B. A. Wael, W. Desvasari, and R. P. H. Adj, "Teknik Reduksi PAPR Pada Sistem OFDM Dengan Partial Transmit Sequence (PTS) dan Selected Mapping (SLM)," *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 15, no. 2, pp. 60–65, 2016.
- [9] S. S. Eom, H. Nam, and Y. C. Ko, "Low-complexity PAPR reduction scheme without side information for OFDM systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 60, no. 7, pp. 3657–3669, 2012.
- [10] M. C. Paredes Paredes and M. J. Fernández-Getino García, "Performance Evaluation of OPS-SAP PAPR Reduction Technique in OFDM Systems in a Wireless Vehicular Context," in *Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks - PE-WASUN '15*, 2015, pp. 49–54.
- [11] K. Mhatre and U. P. Khot, "Efficient Selective Mapping PAPR reduction technique," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 45, no. C, pp. 620–627, 2015.
- [12] W. W. Hu and D. H. Lee, "PAPR reduction for visible light communication systems without side information," *IEEE Photonics J.*, vol. 9, no. 3, 2017.
- [13] M. Equalization et al., "High-Speed Visible Light Communications Using Multiple-Resonant Equalization," *IEEE PHOTONICS Technol. Lett.*, vol. 20, no. 14, pp. 1243–1245, 2008.

