

# Eksperimen Gabungan Teknik Reduksi PAPR Dan Predistorsi Pada Sistem OFDM Menggunakan USRP

M Wisnu Gunawan<sup>1</sup>, Arifin Arifin<sup>2</sup>, Yoedy Moegiharto<sup>3</sup>, Anang Budikarso<sup>4</sup>, Hendy Briantoro<sup>5</sup>

[Submission: 22-06-2023, Accepted: 14-09-2023]

**Abstract**— In this paper, the performances of the joint technique of PAPR Reduction with ICF method and predistortion with inverse Saleh model on OFDM system are evaluated. The system's performances at the receiver are presented by constellation nodes of QAM symbols. From the experiment results can be shown that the predistortion improves the system's performance since the spreading of constellation nodes became smaller. While the performances of PAPR reduction technique are shown as the PAPR reduction values for clipping ratio (CR) values of 5, 4 and 3. The PAPR reduction values are 7,6 dB, 8,4 dB and 9,4 dB. And the predistortion technique can reduce the PSD gain of OFDM signal and linear high power amplifier of 30 dB.

**Intisari**— Pada makalah ini dilakukan evaluasi kinerja gabungan teknik reduksi PAPR metode iterative clipping and filtering (ICF) dan predistorsi model inverse Saleh pada sistem OFDM. Evaluasi kinerja dipenerima ditampilkan dalam titik-titik konstelasi simbol QAM untuk kondisi LOS dan NLOS. Dari hasil eksperimen dapat ditunjukkan bahwa teknik predistorsi dapat memperbaiki kinerja sistem dari makin kecilnya sebaran titik konstelasi simbol. Sedang kinerja teknik reduksi PAPR dinyatakan dengan besarnya nilai penurunan nilai PAPR untuk nilai clipping ratio (CR) = 5, 4 dan 3 masing-masing ditunjukkan sebesar 7,6 dB, 8,4 dB dan 9,4 dB. Dan kinerja predistorsi dapat menurunkan gain PSD sinyal OFDM dengan penguat daya tak linier sebesar 30 dB.

**Kata Kunci**— ICF; konstelasi simbol; LOS; NLOS; OFDM; predistorsi

## I. PENDAHULUAN

OFDM adalah sebuah modulasi multi-carrier yang sudah diterapkan pada beberapa sistem komunikasi nirkabel modern seperti wifi, LTE karena memiliki banyak keuntungan, seperti kebal terhadap efek multipath kanal dan laju transmisi yang tinggi [1][2][3]. Tetapi OFDM masih memiliki kelemahan penting yaitu nilai peak to average power ratio (PAPR)nya

tinggi. Sinyal dengan PAPR tinggi bila dilewatkan pada sebuah penguat daya tak linier akan menghasilkan distorsi pada sinyal yang dipancarkan. Penyebab distorsi sinyal karena penguat daya akan bekerja pada daerah tak liniernya. Solusi untuk distorsi tersebut ialah menurunkan nilai PAPR sinyal OFDM supaya penguat daya bekerja dalam daerah kerja liniernya. Beberapa teknik reduksi PAPR sinyal OFDM sudah banyak diteliti, diantaranya metode clipping and filtering (CF), Selective Mapping (SLM), Partial Transmit Sequence (PTS), Nonlinear Companding Transforms [4][5]. Tetapi penurunan PAPR membuat efisiensi penguat daya juga turun karena penguat daya bekerja jauh dibawah level saturasinya.

Solusi lain untuk menaikkan efisiensi penguat daya ialah dengan memperluas daerah kerja linier penguat daya sehingga penguat daya bisa bekerja linier mendekati level saturasi.

Teknik linierisasi dengan penerapan sebuah predistorter diterapkan pada sinyal OFDM dapat menaikkan memperluas daerah kerja linier penguat daya dan menghilangkan distorsi sinyal yang disebabkan oleh sifat tak linier penguat daya [6][7]. Teknik gabungan reduksi PAPR dan linierisasi atau predistorsi kemudian diterapkan untuk menghasilkan kinerja yang optimal sistem OFDM seperti pada makalah [8]-[11].

Tetapi evaluasi teknik gabungan tersebut dilakukan secara simulasi atau numerik. Studi teknik reduksi PAPR dan teknik predistorsi secara perangkat keras dilaporkan pada makalah [12]-[19]. Studi teknik reduksi PAPR diantaranya pada makalah [12]-[16], dan tentang teknik predistorsi diantaranya pada makalah [17]-[19]. Sedangkan untuk kinerja teknik gabungan reduksi PAPR dan predistorsi dengan perangkat keras dilaporkan pada makalah [19]. Tetapi pada makalah [19] evaluasi kinerja diamati pada sisi pemancar. Sehingga kinerja di sisi penerima perlu dievaluasi, dan pada makalah ini dilaporkan evaluasi di sisi penerima untuk scenario line of sight (LOS) dan non line of sight (NLOS).

## II. STUDI PUSTAKA

Pada makalah [10] peneliti meneliti kinerja gabungan teknik reduksi PAPR metode Tone Reservation (TR) dan algoritma neural network (NN) untuk teknik predistorsi pada sistem FBMC/OQAM and the OFDM. Hasil numerik menunjukkan bahwa teknik gabungan memberikan hasil kinerja sistem yang lebih baik dibanding bila diterapkan secara terpisah. Pada makalah [11] peneliti mengajukan algoritma real-valued neural network (RVNN) untuk mengevaluasi kinerja gabungan teknik reduksi PAPR dan digital predistortion (DPD) pada sistem OFDM. Kinerja sistem ditampilkan dalam nilai adjacent channel power ratio (ACPR) and bit error rate (BER). Kedua

<sup>1</sup> Mahasiswa program D4 Prodi Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya City, East Java 60111, Indonesia, [wisnugee08@gmail.com](mailto:wisnugee08@gmail.com).

<sup>2,3,4</sup> Dosen aktif di Prodi Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya City, East Java 60111, Indonesia, [arifin@pens.ac.id](mailto:arifin@pens.ac.id), [ymoegiharto@pens.ac.id](mailto:ymoegiharto@pens.ac.id), [anang\\_bk@pens.ac.id](mailto:anang_bk@pens.ac.id).

<sup>5</sup> Dosen aktif di Prodi Teknik Komputer Institut Teknologi Telkom Surabaya. Jl. Ketintang No.156, Gayungan, Surabaya City, East Java 60231, Indonesia, [hendy@ittelkom-sby.ac.id](mailto:hendy@ittelkom-sby.ac.id).



makalah tersebut masih melakukan penelitian dalam bentuk simulasi atau numerik.

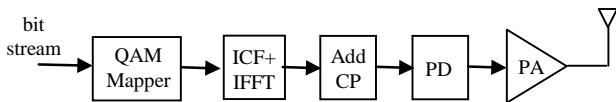
Makalah [15] melaporkan hasil eksperimen teknik reduksi PAPR metode companding dengan menggunakan USRP dan LabView. Pada makalah [16] team penulis mengajukan skema pembangkitan sinyal baru standar 5G dengan USRP-2943R dan FPGA Kintex-7 untuk mengurangi PAPR signal.

Sedang makalah [17][18] menuliskan hasil eksperimen kinerja teknik predistorsi dengan perangkat keras USRP. Pada makalah [18] team peneliti melakukan eksperimen teknik predistorsi pada pemancar OFDM menggunakan NI USRP 2943R. Hasil eksperimen menampilkan kurva karakteristik transfer AM/AM dan AM/PM tanpa dan dengan predistorsi.

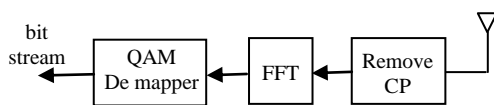
Sedangkan makalah [19] team peneliti dengan perangkat keras USRP dan perangkat lunak LabView dan Python menyusun system pemancar OFDM dengan penerapan teknik reduksi PAPR metode ICF dan teknik predistorsi Hammerstein. Kinerja teknik predistorsi ditunjukkan dalam kurva karakteristik transfer AM/AM, titik konstelasi simbol dan power spectral density. Tetapi kinerja sistem OFDM di sisi penerima belum diamati dan dievaluasi. Pada makalah [20], peneliti melakukan analisa performansi OFDM yang ditambahkan channel coding Modified Convolutional Code. Penelitian ini diterapkan pada perangkat keras USRP NI-2920.

Maka untuk mengetahui kinerja gabungan teknik reduksi PAPR dan predistorsi pada sistem OFDM, pada makalah ini dilakukan evaluasi di sisi penerima untuk kondisi LOS dan NLOS.

Secara blok diagram, pemancar dan penerima sistem OFDM yang akan dievaluasi ditunjukkan seperti gambar 1.

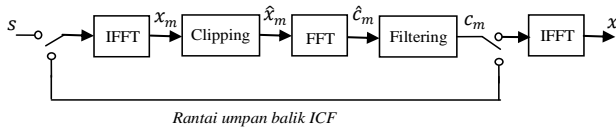


Gambar 1a. Blok diagram pemancar OFDM.



Gambar 1b. Blok diagram penerima OFDM.

Secara blok diagram teknik reduksi PAPR metode ICF ditunjukkan seperti gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram teknik reduksi PAPR metode ICF.

Dengan metode ICF sinyal output untuk iterasi ke  $m$  dapat didefinisikan menggunakan persamaan 1 dibawah..

$$\hat{x}_m(n) = \begin{cases} A_m e^{j\theta_m(n)}, & |x_m(n)| > A_m \\ x_m(n), & |x_m(n)| \leq A_m \end{cases} \quad (1)$$

dengan  $1 < n < N$ ,  $N$  jumlah subcarrier.

$\hat{x}_m(n)$  = sinyal luaran proses clipping iterasi ke  $m$ .

$\theta_m(n)$  = fasa sinyal  $x_m(n)$

$A_m$  = level clipping pada iterasi ke  $m$ .

$m$  = jumlah iterasi.

Level clipping dihitung ulang setiap iterasi sesuai satu nilai clipping ratio (CR). Dan clipping ratio (CR) didefinisikan seperti persamaan 2.

$$CR = \sqrt{PAPR_{maks}} = \frac{A_m}{\sqrt{P_{av}}} \quad (2)$$

dengan  $CR$  dan  $P_{av}$  masing-masing menyatakan clipping rasio dan daya sinyal rata-rata.

Luaran proses clipping dilanjutkan proses filtering dengan menerapkan rectangular window untuk menghilangkan pelebaran spektral yang ditimbulkan oleh proses clipping.

Dan nilai PAPR sinyal dalam dB didefinisikan seperti,

$$PAPR \triangleq 10 \log_{10} \left( \frac{\max|x(n)|^2}{E[|x(n)|^2]} \right) \quad (3)$$

Sedangkan karakteristik penguat daya model memoryless Saleh dapat ditunjukkan dalam fungsi transfer AM/AM yang dituliskan seperti persamaan 4.

$$A(r) = \frac{\alpha_a r}{1 + \beta_a r^2} \quad (4)$$

dengan :

$r$  = Amplitudo sinyal masukan penguat daya

$\alpha$  dan  $\beta$  = Karakteristik fungsi transfer AM/AM.

### III. METODOLOGI

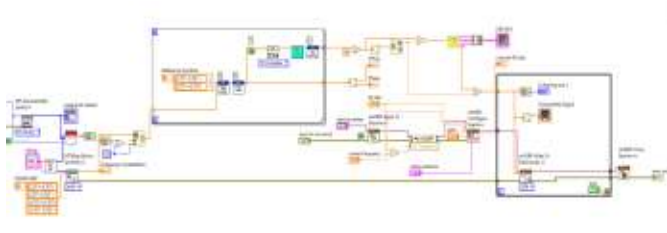
Pada eksperimen ini dilakukan pembuatan blok program dengan LabVIEW pemancar OFDM dengan penerapan gabungan teknik reduksi PAPR metode ICF dan predistorsi dengan model inverse Saleh untuk model penguat daya memoryless Saleh. Juga blok program dengan LabVIEW penerima OFDM untuk mengevaluasi kinerja sistem untuk kondisi LOS dan NLOS.

Sinyal input berupa teks, yang diubah lebih dulu menjadi deretan bit. Kemudian diubah menjadi deretan simbol QAM dan dilanjutkan proses IFFT dengan jumlah subcarrier atau ukuran IFFT sebesar 256 dan ICF dengan 3 kali iterasi dan nilai clipping ratio yang berbeda-beda. Luaran berupa dreaan sinyal OFDM yang kemudian diberikan ke blok predistorsi yang dioperasikan menggunakan algoritma neural network untuk mengkompensasi sifat tak linier penguat daya model Raph, sehingga dapat memperluas daerah kerja linier penguat daya. Tahapan metodologi experimen dapat diuraikan sebagai berikut.

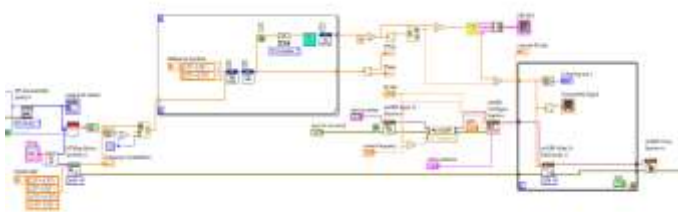
#### A. Tahapan I

Membuat blok program pemancar OFDM dengan gabungan teknik reduksi PAPR metode ICF dan predistorsi model inverse Saleh seperti ditunjukkan pada gambar 3 dan 4. Kemudian

mengevaluasi kinerja teknik reduksi PAPR ICF dalam bentuk kurva CCDF untuk nilai clipping ratio sebesar 3, 4 dan 5. Kemudian mengevaluasi kinerja teknik predistorsi yang ditunjukkan melalui kurva karakteristik transfer AM/AM, dan grafik power spectral density (PSD). Juga ditunjukkan dalam gambar titik-titik konstelasi simbol QAM. Semua hasil masih merupakan kinerja di sisi pemancar.



Gambar 3. Blok program pemancar OFDM.



Gambar 4. Blok program penerima OFDM.

Kemudian mengevaluasi kinerja teknik predistorsi yang ditunjukkan melalui kurva karakteristik transfer AM/AM, dan grafik power spectral density (PSD). Juga ditunjukkan dalam gambar titik-titik konstelasi simbol QAM. Semua hasil masih merupakan kinerja di sisi pemancar.

**B. Tahapan II**

Melakukan pengaturan eksperimen untuk kondisi LOS dan NLOS antara pemancar dan penerima dengan jarak 3 meter seperti ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Pada kondisi NLOS penerima diletakkan dengan sudut belok 90 derajat terhadap pemancar.



Gambar 5. Pengaturan posisi LOS antara pemancar dan penerima OFDM.



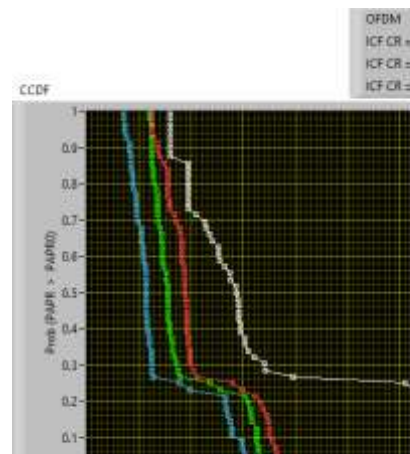
Gambar 6. Pengaturan posisi NLOS antara pemancar dan penerima OFDM.

**C. Tahapan III**

Melakukan pengukuran kinerja teknik reduksi PAPR dan predistorsi di sisi penerima OFDM dengan mengamati titik-titik konstelasi simbol untuk kondisi LOS dan NLOS. Pengukuran dilakukan dengan memilih nilai CR untuk teknik reduksi PAPR sebesar 3.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kinerja teknik reduksi PAPR dengan metode iterative clipping and filtering (ICF) dengan tiga kali iterasi untuk nilai clipping ratio (CR) sebesar 3, 4 dan 5 dengan perangkat keras USRP ditunjukkan dengan kurva CCDF seperti pada gambar 7.

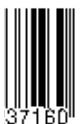


Gambar 6. Kurva CCDF metode ICF untuk nilai CR yang berbeda.

Dari kurva CCDF pada gambar 6 dapat ditunjukkan bahwa nilai PAPR untuk sinyal OFDM asli dan sinyal OFDM setelah penerapan teknik reduksi PAPR metode ICF dengan nilai CR yang berbeda-beda.

TABEL 1  
 Nilai PAPR sinyal OFDM

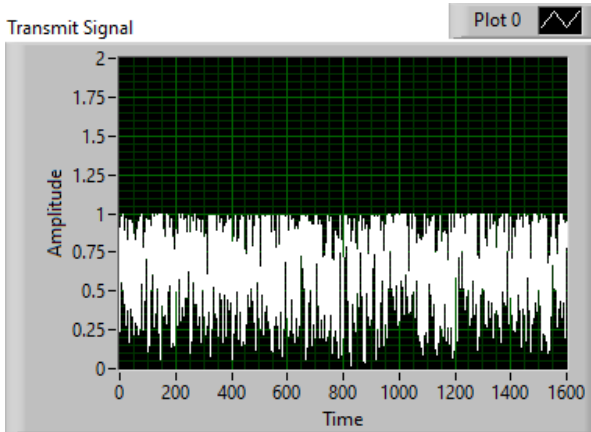
Nilai PAPR	
Sinyal OFDM	19,7 dB
Sinyal OFDM + ICF, CR = 5	12,1 dB
Sinyal OFDM + ICF, CR = 4	11,3 dB
Sinyal OFDM + ICF, CR = 3	10,3 dB



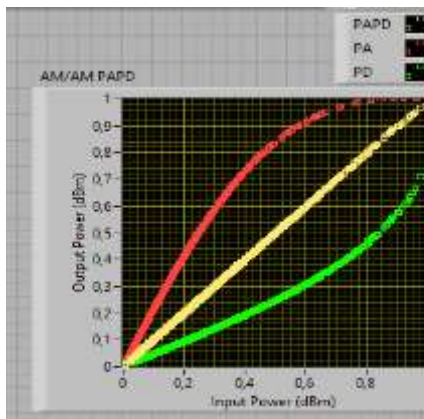
Dan penurunan nilai PAPR untuk nilai clipping ratio (CR) = 5, 4 dan 3 masing-masing sebesar 7,6 dB, 8,4 dB dan 9,4 dB.

Bentuk sinyal OFDM setelah direduksi dengan CR = 3 ditunjukkan pada gambar 7.

Sedang kinerja teknik predistorsi ditunjukkan dengan kurva karakteristik transfer AM/AM seperti ditunjukkan pada gambar 8. Pada penelitian ini nilai karakteristik fungsi transfer AM/AM,  $\alpha$  dan  $\beta$  masing-masing sebesar 2,1587 dan 1,1517.



Gambar 7. Sinyal OFDM plus ICF dengan nilai CR = 5.

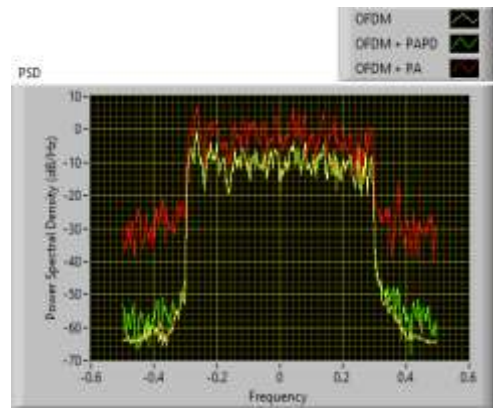


Gambar 8. Kurva karakteristik transfer AM/AM.

Pada gambar 8 dapat ditunjukkan bahwa kurva karakteristik predistorsi (warna hijau) mengkompensasi kurva karakteristik penguat daya (warna merah), menghasilkan kurva karakteristik yang linier (warna kuning).

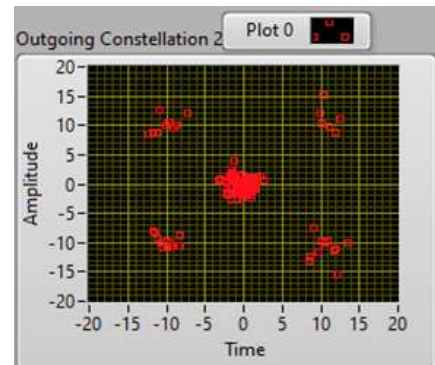
Kinerja teknik predistorsi dapat ditunjukkan dalam bentuk penurunan lebar spektral frekwensi seperti ditunjukkan pada gambar 9.

Dari gambar 9 ditunjukkan teknik predistorsi menurunkan lebar spektral frekwensi sinyal OFDM. Efek penguat daya tak linier (PA) menyebabkan pelebaran spektral frekwensi (warna merah), dan teknik predistorsi menurunkan lebar spektral frekwensi kembali (warna hijau) seperti lebar spektral frekwensi sinyal OFDM (warna kuning). Atau efek penguat daya tak linier (PA) menyebabkan kenaikan gain PSD sebesar 30 dB dan teknik predistorsi dapat menurunkan kembali gain PSD sebesar 30 dB seperti PSD sinyal OFDM asli.



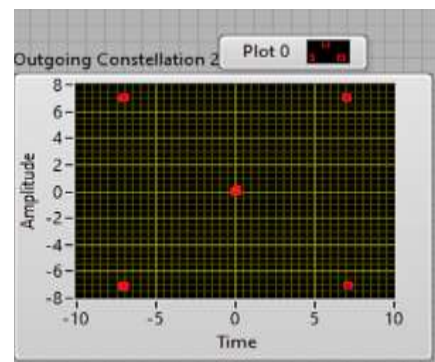
Gambar 9. Grafik power spectral density.

Sedangkan kinerja teknik predistorsi di sisi pemancar sebelum dipancarkan juga ditunjukkan dengan titik-titik konstelasi simbol QAM, seperti ditunjukkan pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Konstelasi simbol QAM sebelum menerapkan teknik predistorsi.

Dari gambar diatas dapat dilihat efek tak linier penguat daya yang menimbulkan penebaran titik konstelasi simbol, yang mengartikan adanya distorsi atau perubahan amplitudo dan fasa simbol QAM.

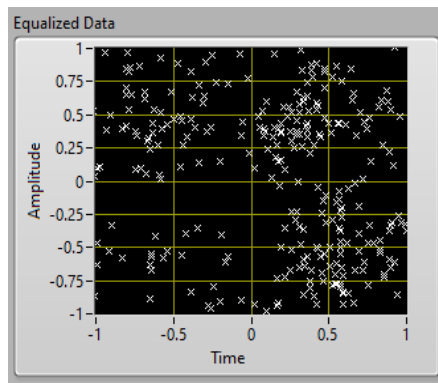


Gambar 11. Konstelasi simbol QAM di pemancar setelah menerapkan teknik predistorsi.

Dari gambar 11 distorsi atau perubahan amplitudo dan fasa simbol diperbaiki mendekati titik konstelasi simbol-simbol QAM asli.



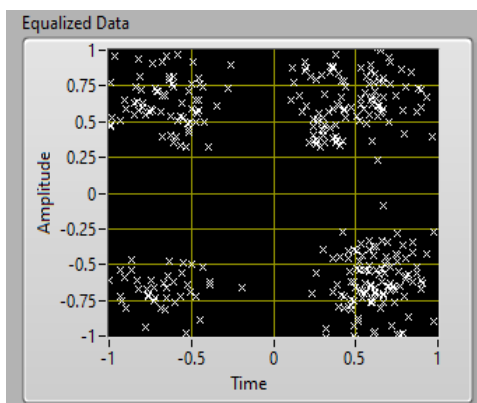
Kemudian sinyal OFDM tanpa dan dengan penerapan teknik predistorsi dikirimkan secara nirkabel ke penerima dengan jarak 3 meter. Dan hasil pengamatan disisi penerima untuk kondisi LOS untuk system tanpa dan dengan penerapan predistorsi ditunjukkan pada gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Konstelasi simbol QAM tanpa predistorsi.

Dari gambar 12 ditunjukkan bahwa sinyal yang diterima mengalami distorsi amplitudo dan fasa yang cukup besar, nampak pada titik-titik konstelasi simbol QAM menebar cukup besar. Karena pengukuran dilakukan didalam ruangan yang berdekatan dengan tembok-tembok, serta antena yang dipakai adalah antena omnidirectional, maka distorsi ditimbulkan oleh efek pantulan tembok-tembok disekitar perangkat USRP pemancar dan penerima.

Tetapi sinyal yang diterima dari sinyal yang sudah mengalami proses reduksi PAPR dan predistorsi di pemancar menunjukkan titik konstelasi simbol dengan efek distorsi yang kecil, seperti ditunjukkan pada gambar 13. Sinyal tersebut meskipun juga mengalami efek pantulan tetapi hasil yang diterima lebih baik dibanding dari sinyal yang tanpa predistorsi.

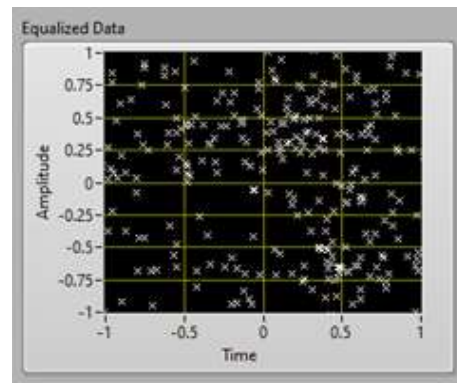


Gambar 13. Konstelasi simbol QAM dengan teknik predistorsi.

Kemudian dilanjutkan pengukuran untuk kondisi lingkungan yang non LOS, yaitu perangkat penerima ditempatkan tidak berhadapan dengan perangkat pemancar. Dan hasil pengamatan

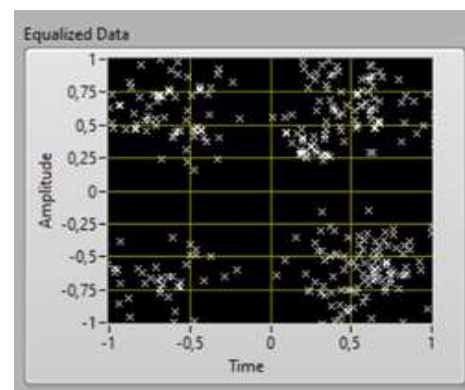
M Wisnu Gunawan: Eksperimen Gabungan Teknik Reduksi ...

kinerja sistem disisi penerima untuk kondisi non LOS ditunjukkan pada gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Konstelasi simbol QAM tanpa predistorsi.

Dari gambar 14 dapat ditunjukkan juga bahwa sinyal yang diterima mengalami distorsi amplitudo dan fasa yang cukup besar. Titik-titik konstelasi simbol menyebar cukup lebar dari titik konstelasi symbol yang asli. Efek pantulan tembok-tembok disekitar perangkat USRP pemancar dan penerima berpotensi menimbulkan distorsi pada sinyal yang diterima tersebut. Untuk mengurangi distorsi tersebut dilakukan teknik predistorsi. Dan sinyal yang diterima dari sinyal yang sudah mengalami proses reduksi PAPR dan predistorsi ditunjukkan seperti pada gambar 15. Nampak sebaran titik-titik konstelasi simbol mengecil mendekati seperti titik-titik konstelasi simbol yang asli.



Gambar 15. Konstelasi simbol QAM dengan predistorsi

## V. KESIMPULAN

Kinerja teknik reduksi PAPR dinyatakan dengan besarnya nilai penurunan nilai PAPR untuk nilai clipping ratio (CR) = 5, 4 dan 3 masing-masing ditunjukkan sebesar 7,6 dB, 8,4 dB dan 9,4 dB. Sehingga nilai CR terendah menghasilkan nilai penurunan nilai PAPR terbesar. Teknik predistorsi dapat menurunkan gain PSD sinyal OFDM dengan penguat daya tak linier sebesar 30 dB kembali seperti PSD sinyal OFDM asli.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



9 772503 237160

Penelitian ini kinerja sistem SISO OFDM dilakukan dengan melakukan pengamatakan titik-titik konstelasi symbol sinyal QAM di penerima. Dari hasil pengukuran untuk kondisi LOS dan NLOS dapat disimpulkan bahwa teknik predistorsi memberikan perbaikan distorsi sinyal yang diterima secara signifikan. Percobaan dilakukan dengan memilih satu nilai clipping ratio yaitu sebesar 5 karena sinyal yang mengalami clipping masih baik dibanding nilai clipping ratio yang lebih kecil.

Penelitian lanjutan bisa dilakukan untuk mengamati secara khusus efek clipping dengan mengamati kinerja titik konstelasi symbol untuk nilai clipping ratio yang berbeda-beda. Selain juga bisa dikembangkan untuk sistem transmisi MIMO atau model kanal bergerak.

#### REFERENSI

- [1] N. P. E. A. Yuniari, N. M. A. E. D. Wirastuti, I. G. A. K. D. D. Hartawan, "Perbandingan Performansi Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 2 (2016).
- [2] K. A. M. D. Prayoga, N. M. A. E. D. Wirastuti, N. Pramaita, "Analisis Unjuk Kerja Improved Sinc Power Pulse pada Sistem OFDM Melalui Kanal Frekuensi Selective Fading," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 18, no. 3 (2019).
- [3] K. A. M. D. Prayoga, N. M. A. E. D. Wirastuti, I. G. A. K. D. D. Hartawan, "Analisis Unjuk Kerja Convolutional Code pada Sistem MIMO MC-DSSS Melalui Kanal Rayleigh Fading," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 2 (2017).
- [4] Hasan, Md Mahmudul, and S. S. Singh. "An overview of PAPR reduction techniques in OFDM systems." *International Journal of Computer Applications* 60, no. 15 (2012).
- [5] P. P. Ann and R. Jose, "Comparison of PAPR reduction techniques in OFDM systems," *2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Coimbatore, India, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/CESYS.2016.7889995.
- [6] Ai Bo, Yang Zhi-xing, Pan Chang-yong, Zhang Tao-tao and Ge Jian-hua, "Effects of PAPR reduction on HPA predistortion," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 51, no. 4, pp. 1143-1147, Nov. 2005, doi: 10.1109/TCE.2005.1561836.
- [7] G. K. Manne and T. Yao, "On the predistortion technique for improving transmission linearity of OFDM system," *IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004*, Los Angeles, CA, USA, 2004, pp. 3876-3879 Vol. 6, doi: 10.1109/VETECF.2004.1404803.
- [8] C. Nader, P. N. Landin, W. Van Moer, N. Bjorsell and P. Handel, "Performance Evaluation of Peak-to-Average Power Ratio Reduction and Digital Pre-Distortion for OFDM Based Systems," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 12, pp. 3504-3511, Dec. 2011, doi: 10.1109/TMTT.2011.2170583.
- [9] Zhinian, Luo, and Shi Jian. "Improved technique of PAPR reduction combined pre-distortion in OFDM systems." In *3rd International Conference on Computer Science and Service System*, 2014, pp. 701-704, doi : 10.2991/csss-14.2014.163.
- [10] Laabidi, Mounira & Bouallegue, Ridha, "A Joint Use of Both PAPR Reduction and Neural Network Predistortion Approaches to Compensate the HPA Non-Linearity Impact on FBMC/OQAM Signals". *Wireless Personal Communications*, 101, 2018.
- [11] Z. Liu, X. Hu, W. Wang and F. M. Ghannouchi, "A Joint PAPR Reduction and Digital Predistortion Based on Real-Valued Neural Networks for OFDM Systems," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 68, no. 1, pp. 223-231, March 2022, doi: 10.1109/TBC.2021.3132158.
- [12] Gouda, M. E., Moharam, M. H., Ragab, M. R., Anwar, A. M., & Gouda, A. F. (2016). USRP implementation of PTS technique for PAPR reduction in OFDM Using LABVIEW. *Adv Wirel Commun Netw*, vol. 2, issue 2, November 2016, pp. 15-24.
- [13] J. P. Singh and S. Singh, "Implementation of OFDM and other multicarrier modulations on SDR," *2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES)*, Paralakhemundi, India, 2016, pp. 1937-1940, doi: 10.1109/SCOPES.2016.7955784.
- [14] B. Gordillo, F. Sandoval, P. Ludeña-González and K. Rohoden, "Increase the Range and Coverage on OFDM System using PAPR reduction by Clipping on SDR," *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, Cuenca, Ecuador, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580261.
- [15] Y. Kamatham and S. Pollamoni, "Implementation of OFDM System with Companding for PAPR Reduction using NI-USRP and LabVIEW," *2019 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, Bangalore, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/WIECON-ECE48653.2019.9019946.
- [16] A. G. Timoshenko, N. K. Osipenko, A. A. Bakhtin and E. A. Volkova, "5G Communication Systems Signal Processing PAPR Reduction Technique," *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Minsk, Belarus, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8456989.
- [17] R. Marsalek and M. Pospisil, "Evaluation of digital predistortion using the USRP N200 software defined radio transceiver," *2014 NORCHIP*, Tampere, Finland, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/NORCHIP.2014.7004715.
- [18] V. Y. Tikhonov and Y. S. Shinakov, "Correction of Non-Linear Signal Distortion on the Equipment NI USRP-2943R with OFDM Transmission Technology," *2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Russia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813990.
- [19] A. Syarif, Arifin, N. Sa'adah, I. G. P. Astawa and Y. Moegiharto, "Performance of Joint PAPR Reduction Iterative Clipping and Filtering (ICF) and Predistortion in OFDM Systems Using Software Defined Radio," *2021 International Electronics Symposium (IES)*, Surabaya, Indonesia, 2021, pp. 92-96, doi: 10.1109/IES53407.2021.9593971.
- [20] H Briantoro, I. G. P. Astawa, A. Sudarsono "An Implementation of Error Minimization Data Transmission in OFDM using Modified Convolutional Code " EMITTER International Journal of Engineering Technology, vol. 3, no. 2, pp. 43-59, 2015.