

# TEKNIK REDUKSI PEAK-TO AVERAGE POWER RATIO SINYAL OFDM MENGGUNAKAN SKEMA HYBRID ENHANCED PARTIAL TRANSMIT SEQUENCE DAN ADAPTIVE ITERATIVE CLIPPING FILTER

Anang Budikarso<sup>1</sup>, Hendy Briantoro<sup>2</sup>, Nur Rahmaniah<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Telekomunikasi  
Departemen Teknik Elektro

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)

<sup>1</sup>[anang\\_bk@pens.ac.id](mailto:anang_bk@pens.ac.id), <sup>2</sup>[hendy@pens.ac.id](mailto:hendy@pens.ac.id), <sup>3</sup>[rahmaniah@gmail.com](mailto:rahmaniah@gmail.com)

---

## Abstrak

Dalam makalah ini dilakukan simulasi kinerja teknik reduksi PAPR dengan skema hybrid enhanced Partial Transmit Sequence (PTS) dan Adaptive Iterative Clipping Filtering (AICF). Skema enhanced PTS bertujuan menaikkan kandidat sinyal OFDM, yang ikut menaikkan kinerja PAPR. Skema hybrid PTS-AICF memberikan hasil kinerja yang lebih baik bila dibandingkan dengan teknik enhanced PTS dan skema hybrid enhanced PTS-ICF (Iterative Clipping Filtering). Simulasi dilakukan dengan mengubah parameter jumlah factor fasa,  $W = 2$  dan  $4$  pada teknik PTS dan nilai clipping ratio (CR) = 2 dB dan 6 dB pada teknik clipping-filtering.

**Kata kunci : OFDM, Peak-to-Average Power Ratio, Enhanced Partial Transmit Sequence, Adaptive Iterative Clipping Filtering, Complementary Cumulative Distribution Function**

---

## 1. Pendahuluan

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah sebuah teknik modulasi multicarrier yang digunakan untuk mengatasi kekurangan dari teknik transmisi single-carrier, yaitu memberikan efisiensi spektrum yang tinggi, kebal terhadap multipath delay, menghilangkan Intersymbol Interference (ISI), resistan terhadap frekuensi selektif fading serta efisiensi daya yang tinggi [Y.Wu and W. Y. Zou, (1995)]. Tetapi salah satu kekurangan teknik ini adalah nilai Peak to Average Power Ratio (PAPR) yang tinggi. PAPR yang tinggi dapat menimbulkan distorsi tak linier pada piranti penguat daya tinggi (high power amplifier) di sisi pemancar sistem OFDM, sehingga, menghasilkan distorsi pada sinyal dan akhirnya menurunkan nilai bit error rate, juga menimbulkan out-of-band radiation. Beberapa teknik untuk mereduksi PAPR telah diteliti orang antara lain clipping dan filtering [Li, Xiaodong, and Leonard J. Cimini Jr. (1997)], [J. Armstrong, (2002)], tone reservation (TR) [J. Tellado and J. M. Cioffi, (1982)], [H. J. Yin, R. Z. Yang, X. L. Luo, L. Jiang, and L. J. Zhu, (2008)], selected mapping (SLM) [R. B. Auml, R.F.H. Fischer, J.B. Huber, (1996)], dan partial transmit sequence (PTS) [S.H. Muller & J.B. Huber, (1997)]. Teknik clipping adalah salah satu teknik reduksi PAPR yang paling sederhana, teknik

ini dapat mengurangi PAPR dengan cara memotong sinyal amplitudo puncak pada level maksimum yang dibutuhkan. Tetapi, metode clipping ini dapat menyebabkan interferensi in-band dan out-of-band yang menurunkan kinerja sistem termasuk BER dan efisiensi frekuensi. Teknik Filtering dapat mereduksi in-band distortion, dapat digunakan bersama dengan teknik clipping. Tetapi setelah proses filtering amplitudo sinyal naik kembali melebihi level clipping. Sehingga untuk mereduksi kenaikan ulang amplitudo sinyal dapat digunakan operasi iterative clipping filtering [J. Armstrong, (2002)]. Iterative Clipping Filtering ini juga memiliki kelemahan diantaranya nilai Clipping Ratio yang selalu sama di setiap iterasinya membuat teknik ini menjadi kurang efektif, sehingga dilakukan operasi Adaptive iterative clipping filtering (AICF) [Moo Lee, Byung., and Youngok Kim. (2013)]. Teknik PTS merupakan salah satu teknik yang efisien untuk mengurangi PAPR pada sinyal OFDM tanpa terjadi distorsi. Pada teknik PTS, blok data input dipecah menjadi beberapa subblok yang saling bebas (disjoint) kemudian ditransformasikan menggunakan IFFT. Setiap subcarrier dalam setiap subblok diberi pembobot dengan fasa yang dirotasi. Perotasian fasa dipilih untuk mendapatkan sinyal gabungan dengan nilai PAPR yang paling kecil.

Pada makalah ini diterapkan skema hybrid Enhanced Partial Trasmit Sequence (RPTS) dengan Adaptive Iterative Clipping Filtering (AICF) untuk memperbaiki kinerja sistem OFDM, yang dinyatakan dalam kurva CCDF.

## 2. Teori Penunjang

### 2.1 PAPR pada Sistem OFDM

Pada dasarnya sistem OFDM menggunakan modulasi multicarrier yang kompleks. Setiap  $N$  subcarrier, memiliki frekuensi  $\{f_k, k, = 0, 1, \dots, N - 1\}$  yang dimodulasi oleh sample data dari setiap blok pada simbol-simbol  $\{X_k, k, = 0, 1, \dots, N - 1\}$ . Setiap subcarrier bersifat saling orthogonal, yaitu bila  $f_k = k\Delta f$  dengan  $\Delta f = 1/(NT)$  dan  $T$  menyatakan durasi simbol OFDM. Selubung kompleks (sinyal OFDM dalam ranah waktu) yang dikirimkan dinyatakan seperti :

$$x_t = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0 \leq k \leq NT \quad (1)$$

Untuk lebih mendekati PAPR dari sinyal OFDM waktu kontinu, cuplikan sinyal OFDM diperoleh dengan melakukan  $L$  kali oversampling. Sampel domain waktu yang telah tersampling  $L$  kali adalah  $LN$ -point IFFT blok data dengan  $(L - 1)N$  zero-padding. Input vektor yang telah disampling seperti,

$$\mathbf{X} = \left\{ X_0, \dots, X_{\frac{N}{2}-1}, 0, \dots, 0, \dots, X_{\frac{N}{2}}, \dots, X_{N-1} \right\} \quad (2)$$

Oleh karena itu, output IFFT yang telah disampling dapat dinyatakan sebagai,

$$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{j2\pi nk}{LN}}, \quad 0 \leq n \leq LN - 1 \quad (3)$$

PAPR sinyal OFDM adalah perbandingan antara daya maksimum sinyal OFDM dengan daya rata-ratanya, PAPR dihitung dari sample sinyal OFDM domain waktu hasil  $L$ -kali oversampling, yang dinyatakan seperti persamaan berikut :

$$PAPR \{x[n]\} = \frac{\max_{0 \leq n \leq LN-1} |x_n|^2}{E[|x_n|^2]} \quad (4)$$

$|x_n|$  adalah nilai *magnitude* dari  $x_n$  dan  $E[.]$  adalah operator ekspektasi.

Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) adalah salah satu ukuran kinerja yang paling sering digunakan untuk teknik reduksi PAPR. CCDF menyatakan probabilitas bahwa PAPR

dari simbol OFDM melebihi ambang batas yang diberikan  $PAPR_0$ , yang dinyatakan seperti,

$$\begin{aligned} CCDF &= Prob(PAPR(x) > PAPR_0) \\ &= 1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.2 Adaptive Iterative Clipping Filtering

Salah satu metode yang paling simple dan efektif dalam mereduksi PAPR adalah teknik clipping, yang dapat menghilangkan komponen sinyal yang melampaui level clip. Pada teknik clipping, amplitudo input sinyal dipotong pada level tertentu. Namun, teknik clipping menghasilkan distorsi daya, disebut clipping noise dan memperlebar spektrum sinyal serta menyebabkan interferensi. Maka, teknik clipping ini perlu dikombinasikan dengan teknik filtering untuk mereduksi spektrum. Kombinasi teknik clipping dan filtering ini cukup efektif dalam menghilangkan komponen spektrum yang diluar bandwidth sinyal dan menurunkan amplitudo sinyal yang melampaui level clip. Tetapi meskipun proses filtering setelah clipping dapat menurunkan lebar spectrum, tetapi dapat juga menyebabkan kenaikan kembali puncak sinyal melebihi level clip, sehingga dilakukan proses yang berulang atau iterasi [J. Armstrong, (2002)].

Pada proses clipping dilakukan pendefinisian clipping ratio (CR) seperti berikut,

$$CR = \frac{A_{maks}}{A_{rata-rata}} \quad (6)$$

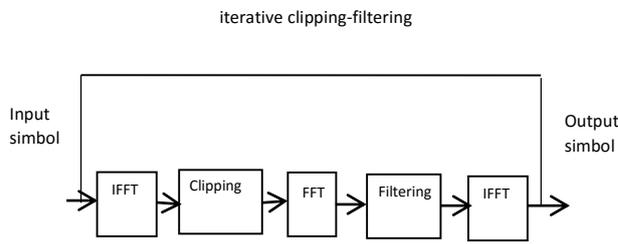
$A_{maks}$  menyatakan amplitudo maksimum sinyal setelah proses clipping, dan  $A_{rata-rata}$  menyatakan amplitudo rata-rata amplitudo sinyal sebelum proses clipping. Jika sinyal input ke proses clipping adalah  $x(n)$  maka sinyal outputnya dinyatakan  $\bar{x}(n)$  didefinisikan seperti,

$$\bar{x}(n) = \begin{cases} x(n) & |x(n)| \leq A_{maks} \\ A_{maks} e^{j\theta(n)} & |x(n)| > A_{maks} \end{cases} \quad (7)$$

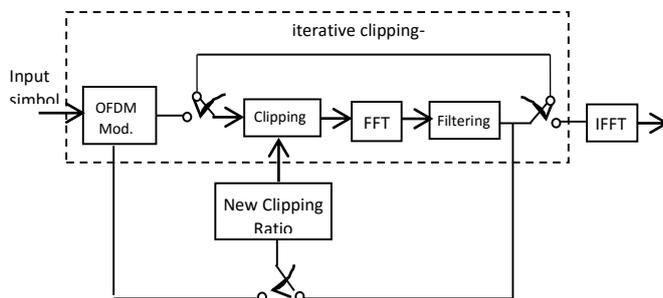
$\theta(n)$  fasa sinyal input.

Secara diagram blok operasi iterative clipping and filtering (ICF) ditunjukkan seperti gambar 1. Namun, kinerja dari ICF konvensional mengalami degradasi karena sinyal yang sama di potong secara berulang-ulang dengan nilai threshold (CR) yang tetap di setiap operasi clipping. Oleh karena itu, digunakan skema adaptive iterative clipping filtering (AICF) seperti pada makalah [Moo Lee, Byung., and Youngok Kim. (2013)] yang memotong sinyal dengan nilai CR yang selalu berubah-ubah di setiap operasi clipping untuk

meningkatkan kinerja reduksi PAPR pada sistem OFDM. Berikut blok diagram dari AICF ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 1.** Blok Diagram Iterative Clipping dan Filtering (ICF).



**Gambar 2.** Blok diagram Adaptive Iterative Clipping-Filtering (AICF).

Pada metode AICF sinyal terpotong sesuai nilai clipping threshold (CT) yang berubah secara adaptif untuk mencegah penambahan kembali puncak sinyal pada setiap iterasi. Nilai CT secara adaptif diperoleh dari modifikasi nilai clipping ratio (CR) pada setiap proses iterasi seperti berikut,

$$CR_e(k) = \frac{A_{max}(k)}{A_{ave}(k)} \quad (8)$$

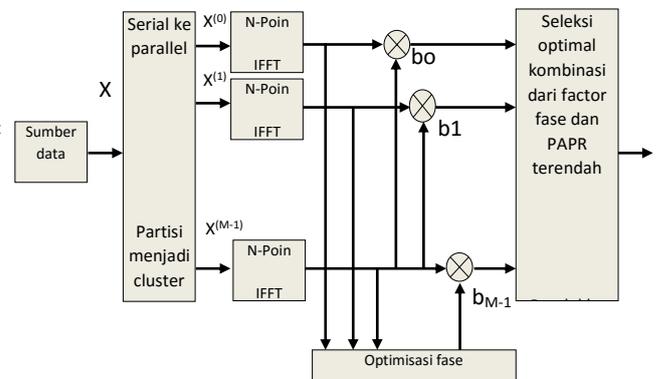
dengan  $A_{ave}(k)$  dan  $A_{max}(k)$  masing-masing adalah amplitudo rata-rata dan amplitudo maksimum, untuk proses iterasi ke  $k$ .

Bila diberikan nilai CR tertentu, amplitudo rata-rata,  $A_{ave}(k)$ , maka amplitudo maksimum  $A_{max}(k)$  dihitung ulang menurut persamaan (8). Jadi nilai CT terus terbarukan pada setiap proses iterasi. Jika amplitudo sinyal terpotong dari hasil proses clipping pada iterasi pertama, amplitudo sinyal rata-rata pada iterasi berikutnya  $A_{ave}(2)$ , akan turun. Jadi untuk nilai CR tetap,  $A_{ave}(2)$ ,  $A_{max}(2)$  akan terkoreksi pada proses iterasi kedua.

## 2.2 Partial Transmit Sequence

Partial Transmit Sequence (PTS) adalah teknik scrambling sinyal dengan menggunakan rotasi scrambling untuk sekelompok subcarriers. PTS pada umumnya diimplementasikan pada deretan data

dalam ranah frekwensi, pertama kali dibagi menjadi beberapa subblok,  $X = \{X_k\}$  ( $k = 0, \dots, N - 1$ ), ditunjukkan secara blok diagram seperti gambar 3.



**Gambar 3.** Partial Transmit Sequence.

Pada sistem OFDM dengan subcarrier  $N$ , deretan data dibagi dengan skema partisi tertentu menjadi  $V$  subblok yang saling tidak saling berkaitan  $X^{(v)}$  menjadi,

$$X = \sum_{v=1}^V X^{(v)} \quad (9)$$

dengan,  $X^{(v)} = [X_0^{(v)} X_1^{(v)} \dots X_{N-1}^{(v)}]$ ,  $X_k^{(v)} = X_k$  atau  $0$  ( $1 \leq v \leq V$ ).

Dengan oversampling  $L$ , maka panjang setiap subblok menjadi  $X^{(v)} = [X_0^{(v)} X_1^{(v)} \dots X_{LN-1}^{(v)}]$ . Lalu, subblok-subsblok tersebut ditransformasi menjadi deretan-deretan parsial ranah waktu seperti,

$$x^{(v)} = IFFT(X^{(v)}) \quad (10)$$

Kemudian deretan-deretan parsial tersebut dirotasi dengan faktor-faktor pembobot  $b_v$  untuk rotasi fasa, dengan  $b_v$  adalah faktor rotasi fase.  $b_v$  biasanya dibuat dengan mengatur  $b_0 = 1$  (tanpa loss) dan dipilih  $b_v$ ,  $v = 1, \dots, V-1$ , dari empat nilai  $\{\pm j, \pm 1\}$ .

$$x = \sum_{v=1}^V b_v x_v \quad (11)$$

sehingga sinyal kandidat OFDM dihasilkan dengan rumus berikut :

$$x = IFFT \left\{ \sum_{v=1}^V b_v X_v \right\} = \sum_{v=1}^V e_v X_v \cdot IFFT \{ X_v \} = \sum_{v=1}^V b_v X_v \quad (12)$$

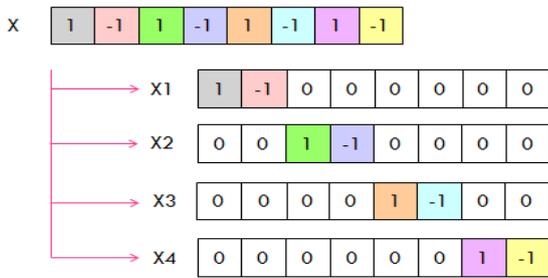
Harus dipilih sebuah kombinasi  $b = [b_1, b_2, \dots, b_V]$  untuk mendapatkan hasil optimum, yakni nilai PAPR minimum. Kombinasi tersebut dinyatakan seperti:

$$b = [b_1, b_2, \dots, b_V]$$

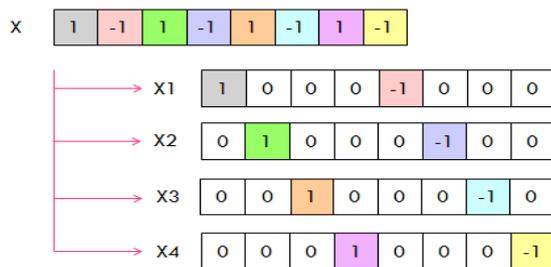
$$= \arg \cdot \min_{(b_1, b_2, \dots, b_V)} \left( \max_{1 \leq n \leq LN} \left| \sum_{v=1}^V b_v x_v \right|^2 \right) \quad (13)$$

Dengan  $\arg \min [(\cdot)]$  menyatakan judgment condition bahwa output memberikan nilai fungsi minimum, yang mencari dan menemukan faktor  $b_v$  terbaik untuk mengoptimalkan nilai PAPR.

Teknik pembagian (partisi) subblok - subblok pada PTS terdiri dari: Interleaved Partitioning, Adjacent Parttitioning, dan Pseudorandom Partitioning seperti ditunjukkan pada gambar 4,5 dan 6 berikut,

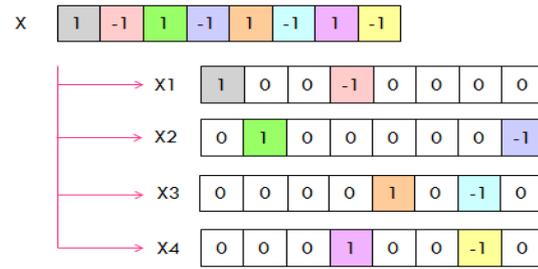


Gambar 4. Adjacent Partitioning.



Gambar 5. Interleaved Partitioning.

Bila terdapat  $W$  buah kemungkinan variasi fasa , maka  $b_v$  dapat memiliki  $W$  buah nilai yang saling beda. Maka terdapat  $W^V$  kemungkinan simbol OFDM. Untuk  $W = 2$ ,  $b$  punya kemungkinan nilai 1 dan -1, dan untuk  $W = 4$ ,  $b$  punya 1, -1,  $j$  dan  $-j$ . Misal untuk  $V = 2$  dan  $W = 2$ , maka faktor-faktor fasa adalah  $b_1 = (1, 1)$ ,  $b_2 = (1, -1)$ ,  $b_3 = (-1, 1)$ , dan  $b_4 = (-1, -1)$ . sedangkan untuk  $V = 2$  dan  $W = 4$ , maka faktor-faktor fasa adalah  $b_1 = (1, 1)$ ,  $b_2 = (1, -1)$ ,  $b_3 = (1, j)$ ,  $b_4 = (1, -j)$ , dan seterusnya sampai  $b_8 = (j, -j)$ .  $b$  akan memiliki  $W^V$  buah kombinasi yang berbeda.

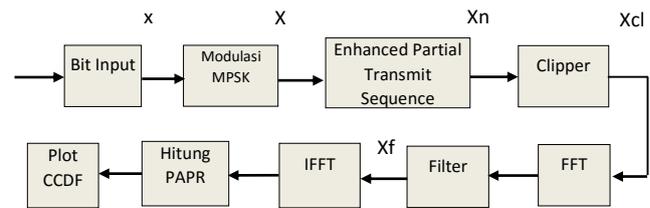


Gambar 6. Pseudorandom Partitioning.

### 3. Perencanaan

Pada bagian ini, disajikan sebuah skema hybrid teknik reduksi PAPR menggunakan Enhanced Partial Transmit Sequence menurut algoritma pada makalah [Ibrahim T. Zeyid, et.all (2014)] dan Adaptive Iterative Clipping Filtering [Moo Lee, Byung., and Youngok Kim. (2013)].

Ide untuk menggabungkan dua metode ini didasarkan pada observasi–observasi yang telah dilakukan oleh beberapa pihak terkait teknik reduksi PAPR menggunakan PTS maupun Clipping dan kedua teknik tersebut mampu meningkatkan hasil keluaran secara signifikan. Masing-masing dari teknik tersebut memiliki prinsip yang berbeda. PTS melakukan transformasi linear dengan merotasi phase vectors dari sinyal berdomain frekuensi, sedangkan ICF melakukan transformasi non-linear yang direpresentasikan oleh batasan sinyal (threshold). Blok diagram metode hybrid tersebut ditunjukkan pada gambar 7 berikut,



Gambar 7. Blok diagram teknik hybrid PTS - CF reduksi PAPR.

Sinyal input yang berupa deretan data biner  $x_n$  yang bersifat acak dimodulasi menjadi deretan simbol-simbol kompleks  $X_n$ . Deretan simbol kemudian dilakukan proses reduksi PAPR dengan teknik Enhanced PTS dan hasilnya berupa simbol-simbol OFDM yang selanjutnya dilakukan proses proses AICF untuk lebih memperkecil nilai PAPR sesuai yang dikehendaki.

Pada Enhanced PTS dilakukan proses penggabungan dua skema partisi, yaitu adjacent dan interleave. Deretan simbol-simbol pertama kali

dipartisi menurut skema adjacent sebanyak  $v$  buah sub-blok, dan setiap sub-blok dipartisi lagi menjadi partisi skema interleaved sebanyak  $s$  buah sub-blok sehingga jumlah sub-blok menjadi  $v.s$  buah. Dan partisi interleaved  $P_i$  tersusun sesuai persamaan berikut,

$$P_i \binom{q}{r} = S_{b_{ri}}(q) \tag{14}$$

dengan  $P_i \binom{q}{r}$  menyatakan elemen ke  $q$  dari sub-blok  $r$  dalam partisi  $P_i$ , dan  $S_{b_{ri}}(q)$  menyatakan elemen ke  $q$  dari sub-blok  $i$  dalam blok  $r$  dari data asli. Sekarang, setiap data yang telah dipartisi interleaved, terdiri dari sejumlah  $s.v$  elemen enhanced PTS. IFFT dari setiap partisi dikomputasikan secara independen.

Dari hasil IFFT ini akan diperoleh simbol-simbol OFDM yang saling orthogonal dalam domain waktu  $X_t$ . Kemudian simbol-simbol OFDM dikalikan dengan rotasi vektor fase ( $b$ ), dimana nilai  $b$  adalah 1 dan -1 jika jumlah  $b$  adalah 2 dan  $b$  bernilai 1,-1,j,-j jika jumlah  $b$  adalah 4.

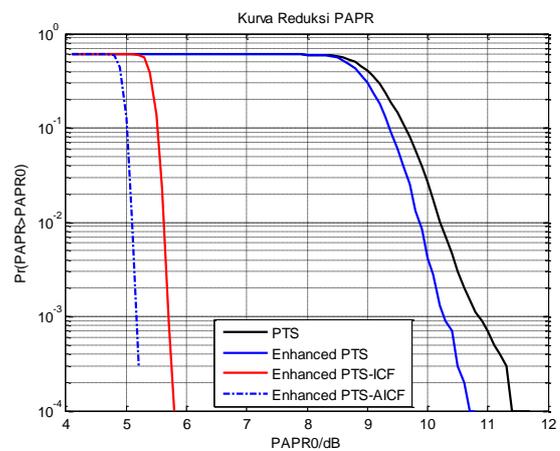
Sinyal dengan nilai PAPR terendah akan di reduksi dengan metode adaptive iterative clipping filtering. Sinyal dalam bentuk serial ini kemudian dipotong dengan nilai threshold tertentu. Dimana nilai threshold ini akan berubah-ubah setiap iterasinya. Setelah dipotong (clip), sinyal akan di ubah dari domain waktu ke domain frekuensi kemudian dilakukan proses dan IFFT. Baru kemudian dihitung nilai PAPR nya. Jika belum mencapai jumlah iterasi yang telah ditentukan, maka dilakukan reduksi clipping dan filtering kembali secara berulang-ulang. Jika perulangan clipping filtering telah mencapai jumlah iterasi, maka dilakukan plot kurva CCDF.

**4. Hasil Simulasi**

Simulasi dilakukan dengan menerapkan modulasi QPSK sebelum proses Enhanced PTS, jumlah subcarrier sebanyak 512 buah, jumlah subblok  $v = s = 4$  clipping ratio = 2 dB dan 6 dB dan jumlah  $W=2$  dan 4. Kinerja skema hybrid enhanced PTS – AICF dibandingkan dengan skema hybrid enhanced PTS – ICF, enhanced PTS dan PTS ditunjukkan oleh gambar 8.

**Tabel 1.** Perbandingan kinerja teknik reduksi PTS, enhanced PTS, enhanced PTS – ICF dan enhanced PTS – AICF

Nilai PAPR <sub>0</sub> pada pengamatan CCDF 1x10 <sup>-3</sup>	
PTS	10,8 dB
enhanced PTS	10,3 dB
enhanced PTS – ICF	5,7 dB
enhanced PTS – AICF	5,2 dB

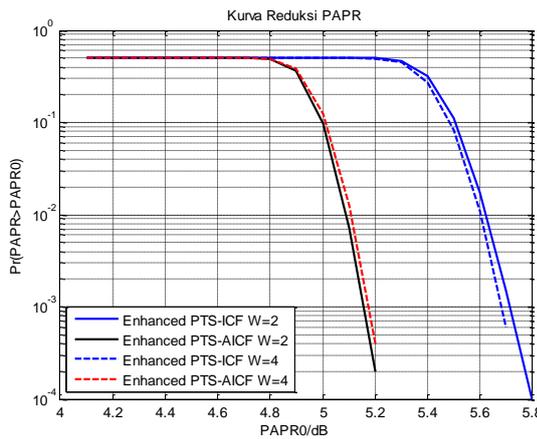


**Gambar 8.** Perbandingan kinerja teknik PTS, enhanced PTS dan enhanced PTS, enhanced PTS – ICF dan enhanced PTS – AICF.

Dari tabel 1 pada nilai probabilitas  $PAPR > PAPR_0$  (CCDF) sebesar  $1 \times 10^{-3}$  dapat diamati bahwa teknik reduksi hybrid enhanced PTS - AICF mereduksi PAPR lebih baik 0,5 dB dibandingkan enhanced PTS - ICF dan mereduksi PAPR lebih baik 5,1 dB dibandingkan enhanced PTS serta mampu mereduksi 5,6 lebih baik dari PTS.

**Tabel 2.** Nilai PAPR<sub>0</sub> untuk berbagai W.

Nilai PAPR <sub>0</sub> pada pengamatan CCDF 1x10 <sup>-3</sup>	
Enhanced PTS-ICF, W=2	5,71 dB
Enhanced PTS-ICF, W=4	5,69 dB
Enhanced PTS-AICF, W=2	5,17 dB
Enhanced PTS-AICF, W=4	5.18 dB



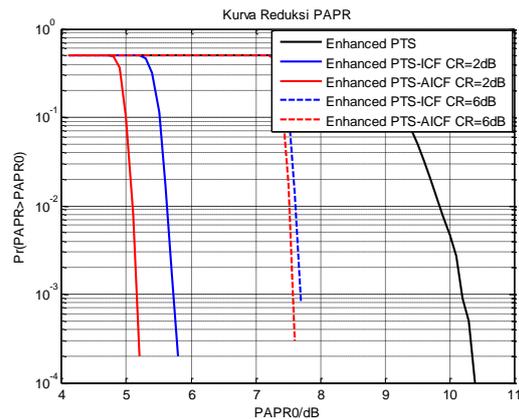
**Gambar 9.** Kinerja skema enhanced PTS-ICF dan enhanced PTS-AICF untuk nilai W=2 dan 4.

Dari tabel 2 pada nilai probabilitas  $PAPR > PAPR_0$  (CCDF) sebesar  $1 \times 10^{-3}$  ditunjukkan bahwa kinerja teknik reduksi hybrid enhanced PTS - AICF dengan  $W = 2$  menurunkan nilai PAPR sejumlah 0.54 dB lebih baik dibanding enhanced PTS - ICF dengan  $W = 2$ . Skema hybrid enhanced PTS - AICF dengan  $W = 4$  menurunkan nilai PAPR sejumlah 0.49 dB lebih baik dibanding enhanced PTS - ICF dengan  $W = 4$ .

Selanjutnya pengamatan teknik reduksi PAPR skema enhanced PTS dan hybrid enhanced PTS – ICF dan hybrid enhanced PTS – AICF dengan nilai CR yang berbeda.

**Tabel 3.** Nilai  $PAPR_0$  untuk berbagai CR.

Nilai $PAPR_0$ pada pengamatan CCDF $1 \times 10^{-3}$	
Enhanced PTS	10,15 dB
Enhanced PTS-ICF, CR = 6 dB	7,6 dB
Enhanced PTS-AICF, CR = 6 dB	7,5 dB
Enhanced PTS-ICF, CR = 2 dB	5,6 dB
Enhanced PTS-AICF, CR = 2 dB	5,15 dB



**Gambar 10.** Kinerja skema enhanced PTS, enhanced PTS-ICF dan PTS-AICF untuk nilai CR berbeda.

Dari tabel 3 pada nilai probabilitas  $PAPR > PAPR_0$  (CCDF) sebesar  $1 \times 10^{-3}$  ditunjukkan bahwa kinerja teknik reduksi hybrid enhanced PTS-AICF dengan  $CR = 2$  dB dapat menurunkan nilai PAPR sebesar 0,35 dB dibanding enhanced PTS-ICF. Skema hybrid enhanced PTS-AICF dengan  $CR = 6$  dB dapat menurunkan nilai PAPR sebesar 0,1 dB dibanding enhanced PTS-ICF.

### 5. Kesimpulan

Aplikasi skema hybrid enhanced PTS-AICF untuk reduksi PAPR lebih baik dibanding teknik reduksi enhanced PTS sebesar 5,1 dB. Penggunaan algoritma adaptive pada proses clipping-filtering juga makin memperbaiki kinerja teknik reduksi dibanding iteratif clipping-filtering meski hanya sebesar 0,5 dB, untuk nilai clipping ratio (CR) pada teknik CF yang berubah, maupun untuk jumlah faktor fasa (W) pada teknik PTS yang berubah.

### Daftar Pustaka:

H. J. Yin, R. Z. Yang, X. L. Luo, L. Jiang, and L. J. Zhu.(2008): *Weighted tone reservation for OFDM PAPR reduction*. U.S. Patent 779 649 .

Ibrahim T. Zeyid, Rahman Mijanur Md, Yakoob N.S., Razalli Shahrazel Mohammad, Kadhim A. Rasim, Ahmed K. Kawakib. (2014): *PAPR Reduction of OFDM Signal Using Hybrid PTS Technique in Combination with Clipping*, *International Journal of Digital Content*

- Technology and its Applications (JDCTA)*, vol. 8, no. 6, pp. 99-108.
- J. Armstrong. (2002): *Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering*. *Electron. Lett.*, vol. 38, pp. 246–247.
- J. Tellado and J. M. Cioffi. (1982): *PAR reduction in multicarriers transmission systems*. Information Systems Laboratory, Stanford University,.
- Li, Xiaodong, and Leonard J. Cimini Jr. (1997): *Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM*. Vehicular Technology Conference, 1997, IEEE 47th. Vol. 3. IEEE, 1997.
- Moo Lee, Byung., and Youngok Kim. (2013): *An Adaptive Clipping and Filtering Technique for PAPR Reduction of OFDM Signals*. *Circuits Syst Signal Process* 32:1335–1349, 2013.
- R. B. auml, R.F.H. Fischer, J.B. Huber.(1996): *Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Multicarrier Modulation by Selected Mapping*. *Electronics Letters*, pp. 2056–2057, Nov. 1996.
- S.H. Muller & J.B. Huber.(1997): *OFDM with reduced peak-to average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences*. *Electronics Letters*, 33(5), pp.368–369.
- Y.Wu and W. Y. Zou.(1995): *Orthogonal frequency division multiplexing: A multi-carrier modulation scheme*. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 392–399, Aug.