

Kinerja Teknik Reduksi PAPR *Hibrid Partial Transmit Sequence (PTS)* dan *Clipping Filtering* Pada Sinyal OFDM Ranah Waktu

Ahmad Zainudin^{1,*}, Hendy Briantoro¹, Yoedy Moegiharto¹

¹ Departemen Teknik Elektro
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Tel: (031) 594 7280; Fax: (031) 594 6114
{zai,hendy,yoegiharto}@pens.ac.id

Abstrak. Teknik reduksi PAPR pada sinyal OFDM bisa berupa bentuk hibrid atau gabungan dari dua teknis reduksi yang sudah ada. Dalam penelitian ini dibangun teknik teknik *hibrid partial transmit sequence (PTS)* dan *clipping-filtering (CF)* dengan 3 tahapan proses CF. Dari hasil simulasi dapat ditunjukkan bahwa kinerja teknik reduksi PAPR dengan teknik hibrid PTS-CF lebih baik dibanding teknik PTS konvensional, untuk nilai *clipping ratio*(CR), jenis partisi subblok dan pemilihan jumlah faktor fasa dalam proses IFFT teknik PTS.

Kata Kunci: *Partial Transmit Sequence (PTS)*, *clipping-filtering (CF)*, CCDF.

1. Pendahuluan

Orthogonal frequency division-multiplexing (OFDM) adalah sebuah teknologi yang sudah sangat dikenal dan diterapkan pada sistem komunikasi nirkabel pita lebar (broadband), karena memiliki keunggulan kebal terhadap gangguan multipath fading dan memiliki efisiensi bandwidth yang tinggi. Tetapi salah satu kelemahan utamanya adalah sinyal dalam ranah waktu memiliki nilai peak-to-average power ratio (PAPR) yang tinggi. Sinyal dengan PAPR yang tinggi dapat menyebabkan distorsi tak linier pada piranti penguat daya sebelum sinyal dikirimkan lewat antena. Distorsi tak linier disebabkan karena penguat daya bekerja diluar daerah kerja liniernya. Karena itu diperlukan usaha untuk mengurangi nilai PAPR pada sinyal-sinyal OFDM supaya penguat daya bekerja pada daerah linier dari sebuah penguat daya. Beberapa solusi terhadap permasalahan PAPR ini sudah dikenal, seperti teknik reduksi PAPR dengan metode clipping dan filtering [1], selective mapping (PTS) [2]–[4] dan partial transmit sequence (PTS) [5]–[7].

Metode clipping dan filtering (CF) merupakan metode yang paling sederhana, merupakan sebuah metode reduksi PAPR tak linier, yang membatasi sinyal OFDM dalam ranah waktu pada satu level tertentu. Tetapi sinyal hasil clipping membentuk sinyal mirip deretan pulsa yang memiliki spektrum frekwensi lebar atau out-of-band radiation yang dapat menimbulkan interferensi pada sinyal-sinyal dalam spectrum frekwensi yang berdekatan. Sehingga selanjutnya dilakukan proses filtering untuk membatasi lebar spektrum frekwensinya. Tetapi teknik CF ini masih menyisakan gangguan in-band distortion yang kecil, dan dapat dihilangkan dengan menggunakan teknik clipping noise cancellation [8]. Partial Transmit Sequence (PTS) adalah metode reduksi PAPR linier. Pada metode PTS simbol-simbol OFDM dikelompokkan kedalam K buah sub-blok berisi N/K buah symbol. Beberapa sinyal OFDM diperoleh dengan melakukan rotasi simbol-simbol dari setiap blok dengan sebuah fasa yang diambil dari sebuah kelompok fasa sebanyak K. Metode PTS melakukan beberapa kali iterasi untuk mendapatkan nilai fasa terbaik untuk setiap blok yang menghasilkan sebuah sinyal OFDM dengan nilai PAPR terkecil.

Pada penelitian ini dikembangkan teknik hibrid menggabungkan metode PTS dan clipping-filtering (CF) untuk menganalisa pengaruh nilai clipping ratio (CR), pola pembagian sub-blok atau jenis partisi sub-blok dan variasi fasa.

2. Perancangan Sistem

2.1 Sistem OFDM dan PAPR

Bila terdapat blok data informasi input dengan panjang N sebagai sebuah vektor $\mathbf{X} = [X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}]^T$ dengan N menyatakan jumlah subcarrier, setiap elemen vektor \mathbf{X} akan dimodulasi setiap satu subcarrier menghasilkan satu symbol OFDM. Setiap subcarrier bersifat saling orthogonal, yaitu bila $f_n = n\Delta f$ dengan $n\Delta f = 1/NT$ dan NT menyatakan durasi blok data OFDM, \mathbf{X} . Durasi waktu sebuah simbol X_n dalam \mathbf{X} sebesar T .

Selubung kompleks (sinyal OFDM dalam ranah waktu) yang dikirimkan dinyatakan seperti,

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t \leq NT \quad (1)$$

PAPR (Peak-to-average power ratio reduction) dari sinyal OFDM yang menyatakan perbandingan antara daya maksimum sinyal OFDM dengan daya rata-ratanya, seperti persamaan diatas dinyatakan seperti,

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{\frac{1}{NT} \cdot \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt} \quad (2)$$

Teknik reduksi PAPR terkait dengan reduksi nilai maksimum sinyal OFDM $x(t)$, maks $|x(t)|$. Distorsi tak linier pada sebuah HPA (high power amplifier) yang akan menguatkan sinyal OFDM terjadi pada ranah analog, sedangkan pemrosesan sinyal untuk mereduksi nilai PAPR dilakukan pada ranah digital. Nilai PAPR pada ranah digital tidak sama dengan nilai PAPR pada ranah analog, tetapi dengan proses oversampling pada sinyal OFDM dalam ranah digital nilai PAPR kedua ranah mendekati sama. Umumnya digunakan faktor oversampling $L = 4$ sudah cukup memadai. Sehingga rumusan PAPR dinyatakan seperti,

$$PAPR_{optimal} = \frac{\min_{b_1, \dots, b_M} (\max_{0 \leq t \leq LNT} |x(t)|^2)}{\frac{1}{NT} \cdot \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt} \quad (3)$$

2.2 Teknik Clipping dan Filtering (CF)

Teknik CF ini merupakan teknik yang paling mudah untuk menurunkan daya sebuah sinyal dalam ranah waktu dengan mengatur sebuah level daya maksimum pada sinyal yang dikirimkan [5]. Teknik reduksi CF akan melipat (clip) amplitudo sinyal OFDM ranah waktu kemudian melakukan proses filtering terhadap sinyal hasil clipping dalam ranah frekwensi, karena proses clipping menghasilkan bentuk sinyal mirip deretan pulsa-pulsa (gambar 1 berikut) sehingga terjadi pelebaran spektrum sinyal atau out-of-band radiation.

Proses clipping ditentukan oleh nilai clipping ratio (CR), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara titik ambang clipping atau clipping threshold dengan level rms sinyal OFDM. Nilai CR dinyatakan seperti,

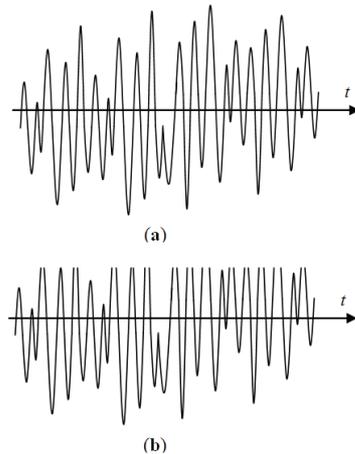
$$CR = \frac{A}{\sigma} \quad (4)$$

dan (5)

$$\sigma = \sqrt{N}$$

dengan :

- CR = Clipping Ratio
- A = nilai *threshold clipping*
- σ = level rms sinyal OFDM
- N = jumlah subcarrier OFDM



Gambar (1a) Sinyal OFDM sebelum clipping (1b) Sinyal OFDM setelah clipping

Dari proses clipping sinyal OFDM yang dihasi $x_c(t)$ dinyatakan sebagai berikut,

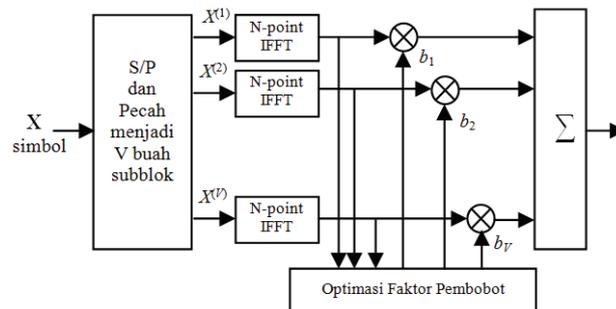
$$x_c(t) = \begin{cases} -A & x_c(t) \leq -A \\ x_c(t) & |x_c(t)| < A \\ A & x_c(t) \geq A \end{cases} \quad (6)$$

Dengan $x_c(t)$ sinyal OFDM asli.

2.3 Teknik Partial Transmit Sequence (PTS)

Pada teknik PTS, sebuah deretan informasi data input dipecah menjadi sejumlah subblok yang saling beda, setelah proses IFFT kemudian dirotasi oleh sekumpulan faktor-faktor fasa yang akan menghasilkan bakal-bakal sinyal OFDM yang dikirimkan. Bakal sinyal yang dikirimkan adalah sinyal OFDM yang memiliki nilai PAPR terkecil [3].

Teknik reduksi PAPR dengan teknik PTS secara diagram blok ditunjukkan seperti gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Teknik PTS

Deretan simbol X dalam ranah frekuensi dipecah menjadi v buah subblok yang saling bebas, dinyatakan seperti, $\{X^{(v)}, v = 1, 2, \dots, V\}$, panjang setiap subblok sebanyak N dan N menyatakan jumlah subcarrier.

$$X = \sum_{v=1}^V X^{(v)} \quad (7)$$

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

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,

$$x^{(v)} = IFFT(X^{(v)}) \quad (8)$$

Kemudian deretan-deretan parsial tersebut dirotasi dengan faktor-faktor pembobot \mathbf{b} untuk rotasi fasa, umumnya dikenal dengan faktor-faktor $\mathbf{b} = \{b_v = e^{j\theta_v}, v = 1, 2, \dots, V\}$ untuk mendapatkan hasil PAPR terendah dengan menggabungkan secara optimal V buah subblok.

$$x = \sum_{v=1}^V b_v x^{(v)}, b_v = \{e^{j\theta_v}, v = 1, 2, \dots, V\} \quad (9)$$

$X^{(v)}$ dinamakan deretan-deretan parsial (*Partial Transmit Sequence*) yang di rotasi oleh faktor-faktor fasa \mathbf{b} secara bebas atau tak saling berpengaruh. Dengan melakukan proses IFFT dari persamaan diatas diperoleh deretan-deretan parsial dalam ranah waktu yang akan dikirimkan seperti :

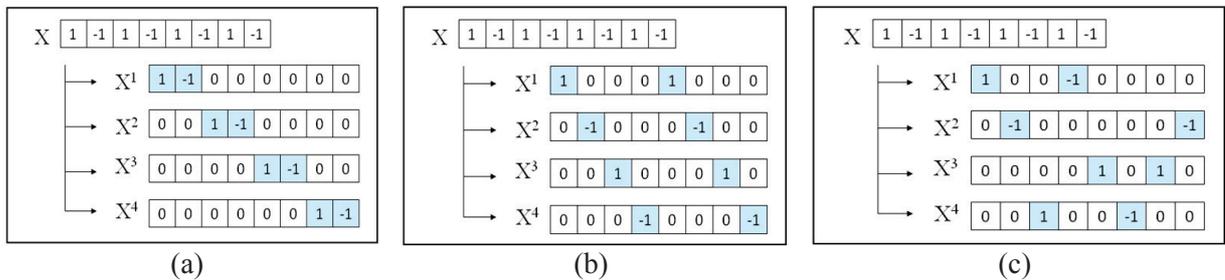
$$\begin{aligned} x' = IFFT(X') &= \sum_{v=1}^V b_v IFFT X^{(v)} \\ &= \sum_{v=1}^V b_v x^{(v)} \end{aligned} \quad (10)$$

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

$$\begin{aligned} b &= [b_1, b_2, \dots, b_V] \\ &= \arg \cdot \min_{(b_1, b_2, \dots, b_V)} \left(\max_{1 \leq n \leq LN} \left| \sum_{v=1}^V b_v x^{(v)} \right|^2 \right) \end{aligned} \quad (11)$$

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

Dalam teknik partial transmit sequence terdapat tiga jenis penyusunan (partisi) subblok-subsblok yakni, adjacent, interleave dan pseudo random, seperti gambar 3.



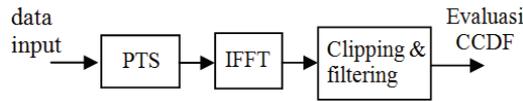
Gambar 3. Partisi subblok pada teknik PTS

Pada partisi adjacent (3a), simbol-simbol ditempatkan secara berurutan kedalam subblok-subsblok yang sama panjang. Pada partisi interleaved (3b) simbol-simbol ditempatkan dengan jarak tertentu kedalam subblok-subsblok yang sama panjang dan partisi pseudo random (3c) simbol-simbol ditempatkan secara acak kedalam subblok-subsblok.

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 $b_1 = (1, 1)$ dan $b_2 = (1, -1)$ sedangkan untuk $V = 2$ dan $W = 4$, maka faktor-faktor fasa adalah $b_1 = (1, 1)$, $b_2 = (1, -1)$, $b_3 = (1, j)$ dan $b_4 = (1, -j)$. Bila θ_v pada $\{b_v = e^{j\theta_v}\}$ berisi W kemungkinan nilai, maka, \mathbf{b} akan memiliki W^V buah kombinasi yang berbeda.

2.3 Teknik Hibrid PTS dan CF

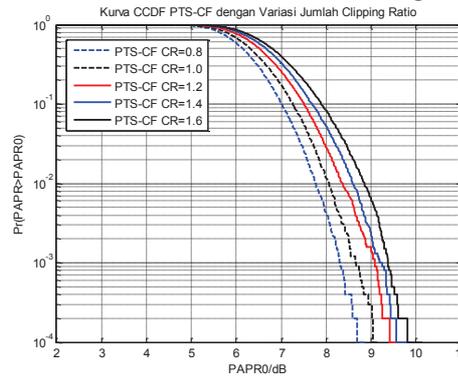
Teknik reduksi hibrid PTS dan CF dapat diterapkan dengan menggunakan teknik PTS sebagai proses pertama diteruskan dengan teknik CF. Pada penelitian ini proses CF dilakukan lebih dari satu tahap.



Gambar 4. Diagram blok teknik hibrid teknik PTS dan CF

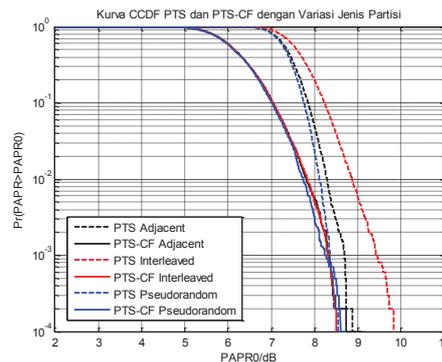
3. Hasil Simulasi

Hasil simulasi untuk teknik hibrid PTS dan CF untuk menganalisa pengaruh nilai clipping ratio (CR) ditunjukkan gambar 4. Pada nilai CCDF sebesar 10^{-3} untuk teknik reduksi hibrid PTS-CF dengan nilai CR = 0,8 menghasilkan CCDF terbaik, sekitar 1 dB dibanding CR = 1,6.



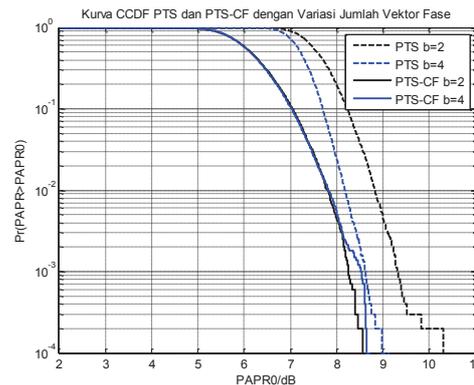
Gambar 4. Kinerja teknik hibrid teknik PTS-CF untuk nilai CR yang berbeda

Sedangkan perbandingan antar jenis susunan (partisi) subblok antara teknik TS dengan teknik hibrid PTS dan CF ditunjukkan seperti gambar 5. Pada nilai CCDF sebesar 10^{-3} susunan sub blok (partisi) interleaved menunjukkan perbedaan yang paling mencolok antara teknik PTS dan teknik hibrid PTS dan CF. Perbedaan tersebut terbaca sekitar 1 dB. Untuk partisi jenis adjacent dan pseudo random kedua teknik tidak menunjukkan perbedaan nilai CCDF yang besar.



Gambar 5. Kinerja teknik PTS dan teknik hibrid PTS-CF

Perbedaan jumlah faktor fasa (b) pada teknik hibrid PTS dan CF dibandingkan dengan teknik PTS saja ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Kinerja Teknik PTS Dan Teknik Hibrid PTS-CF Untuk Jumlah Faktor Fase Berbeda

Dari gambar diatas jumlah faktor fase, $b = 4$ menghasilkan nilai CCDF lebih baik untuk teknik PTS maupun teknik hibrid PTS-CF, perbedaan lebih menyolok untuk jumlah faktor fase, $b = 2$.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa kinerja teknik reduksi PAPR dengan teknik hibrid PTS-CF makin baik dibanding dengan teknik PTS. Nilai CR, jenis partisi subblok dan jumlah faktor fase yang berbeda tetap membuktikan teknik hibrid PTS-CF lebih baik dari teknik non hibrid, PTS konvensional.

5. Daftar Referensi

- [1] X. Li and L. J. Cimini, Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 5, pp. 131–133, May 1998.
- [2] R. W. Bami, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak to average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056–2057, Oct. 1996.
- [3] S. H. Han and J. H. Lee, "Modified selected mapping technique for PAPR reduction of coded OFDM signal," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 50, no. 3, pp. 335–341, Sep. 2004.
- [4] C. P. Li, S. H. Wang, and C. L. Wang, "Novel low-complexity PTS schemes for PAPR reduction in OFDM systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 58, no. 5, pp. 2916–2921, May 2010.
- [5] S. H. Muller and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequence," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 5, pp. 368–369, Feb. 1997.
- [6] S. G. Kang, J. G. Kim, and E. K. Joo, "A novel subblock partition scheme for partial transmit sequence OFDM," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 45, no. 3, pp. 333–338, Sep. 1999.
- [7] L. J. Cimini and N. R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequence," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 86–88, Mar. 2000.