

Reduksi PAPR menggunakan Partial Transmit Sequence (PTS) dengan Cyclic Coding pada Sistem OFDM

Erickson Manurung¹, Rina Puji Astuti², Nachwan Mufti³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro IT Telkom, Bandung

¹three_durians@yahoo.co.id, ²rpa@stttelkom.ac.id, ³nma@stttelkom.ac.id

Abstrak

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) banyak diterapkan pada teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) karena memiliki spektral efisiensi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena penggunaan frekuensi yang saling *orthogonal* sehingga antar *subcarrier* dapat overlapping tanpa terjadi interferensi. Namun OFDM memiliki beberapa kelemahan, salah satunya nilai PAPR yang tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadi distorsi linear pada amplifier.

Pada Tugas Akhir ini, simulasi dan analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana teknik *Partial Transmit Sequence* (PTS) dapat mereduksi PAPR. Pada pendekatan ini, masing-masing blok *subcarrier* dipartisi kemudian subblok hasil partisi dikalikan dengan suatu kombinasi fasa dari faktor pembobot, selanjutnya kombinasi ini dioptimalkan untuk memperkecil nilai PAPR. *Channel coding* yang digunakan untuk mengurangi *bit error rate* (BER) adalah *Cyclic Coding*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan jumlah partisi (V) pada PTS dapat meningkatkan reduksi PAPR. Aplikasi *Cyclic Coding* memberikan penurunan BER yang cukup signifikan dibanding PTS biasa.

Kata kunci : OFDM, PAPR, PTS, *Cyclic code*, BER

Abstract

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) has applied in *Broadband Wireless Access* (BWA) technologies because of its high spectral-efficiency. The principle of orthogonality made it possible for the system to allow overlapping between subcarriers without interference. But OFDM has a weakness, its high PAPR which can stimulate linear distortion in amplifier.

In this final project, simulation and analysis is made to figure out the impact of *Partial Transmit Sequence* (PTS) in PAPR reduction. In this scheme, each block of subcarriers divided into some sub-blocks, then every sub-block are multiplied by phase combination, the transmitted signal is made to have low PAPR by optimally combining signal sub-blocks. *Channel coding* used to lessen bit error rate (BER) is *Cyclic Code*.

Results of simulation shows that addition of partition (V) in PTS will improve reduction of PAPR. Application of cyclic code decrease BER pretty significant compared to usual PTS.

Keyword : OFDM, PAPR, PTS, *Cyclic code*, BER

1. Pendahuluan

Di era globalisasi saat ini, informasi adalah komoditi seperti logam atau minyak. Politikus, pialang saham, ahli bedah dan semua orang melambaikan tangan dan berkata bahwa ini adalah tanda "hidup dalam era informasi". Walaupun tidak semua orang tahu apa sebenarnya era informasi itu, ada tanda-tanda mengenainya dimana-mana: faks-faks yang menyembul dari tempat sampah, email dari yacht, download data via ponsel, menjamurnya hotspot, sampai layanan video streaming.

Sejalan dengan fenomena diatas maka sistem komunikasi wireless yang dapat mendukung aktivitas mobile user dituntut untuk menyediakan layanan data berkecepatan tinggi. Karena dengan tersedianya rate yang tinggi, berbagai layanan komunikasi yang bersifat multimedia dapat dilakukan secara real time dengan service yang beragam.

Salah satu teknik yang dapat diandalkan untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Teknik ini telah lama dipakai sebagai metoda

efisien untuk melawan efek dari kanal multipath yang memiliki data rate tinggi sehingga banyak dipakai sebagai interface utama pada beberapa sistem seperti W-LAN (IEEE 802.11), DAB (*Digital Audio Broadcasting*), DVB (*Digital Video Broadcasting*), Wi-Max (IEEE 802.16) dan ASDSL (*Asynchronous Digital Subscriber Line*).

Pada prinsipnya OFDM membagi data serial berkecepatan tinggi dengan membagi carrier menjadi beberapa subcarrier yang bersifat ortogonal sehingga diperoleh sinyal paralel dengan data rate yang rendah. Pembagian data rate yang rendah mengubah kondisi kanal dari frequency selective fading menjadi flat fading. Ortogonalitas subcarrier selain dapat mengurangi ICI (*Inter Carrier Interference*) dan ISI (*Inter Symbol Interference*) juga dapat menghemat bandwidth karena memungkinkan subcarrier untuk saling overlapping.

Tetapi dengan semakin banyaknya jumlah carrier yang digunakan, nilai PAPRnya semakin tinggi karena masing-masing subcarrier dimodulasi secara independen. PAPR merupakan

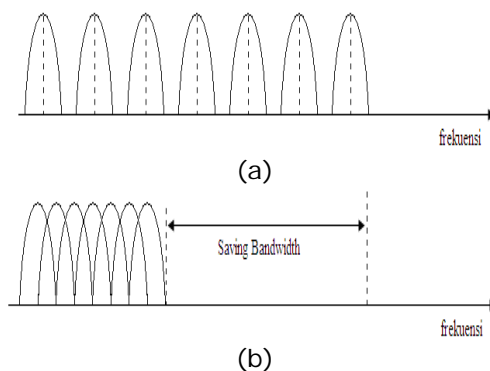
perbandingan nilai amplitude maksimum sinyal dengan amplitude rata-ratanya. Hal inilah yang menjadi salah satu kelemahan OFDM karena PAPR yang tinggi dapat menyebabkan distorsi *nonlinear* yang berakibat intermodulasi dan kebocoran spektral. Diperlukan amplifier dengan *dynamic range* yang lebar untuk menjangkau nilai PAPR yang tinggi tersebut. Tetapi cara ini tidak memuaskan karena menurunkan efisiensi amplifier. Oleh karena itu diperlukan suatu teknik untuk mengurangi nilai PAPR tersebut.

Beberapa teknik telah dikembangkan untuk mereduksi nilai PAPR. Salah satu diantaranya adalah PTS (*Partial Transmit Sequence*) yaitu dengan mengkombinasikan beberapa blok *subcarrier* dengan fasa tertentu sehingga resultan sinyal OFDM akan berkurang. Pada tugas akhir ini, penulis mengkombinasikan teknik PTS dan *Cyclic coding* sehingga simulasi diharapkan mampu mengurangi nilai PAPR dan BER.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Dasar OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan sistem transmisi *multicarrier* yang *subcarrier*nya saling ortogonal. Penggunaan *multicarrier* dengan *data rate* yang lebih rendah memberi keuntungan pada sistem karena kanal yang semula bersifat *frequency selective fading* akan dirasa seperti *flat fading* oleh masing-masing *subcarrier* sehingga distorsi sinyal akibat kanal *multipath fading* menjadi berkurang. Sedangkan ortogonalitas *subcarrier* dapat dimanfaatkan untuk efisiensi bandwidth karena penempatan *subcarrier* yang saling *overlapping* tanpa menimbulkan interferensi. Perbandingan spektrum bandwidth antara *multicarrier* konvensional dengan yang saling overlap ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut :



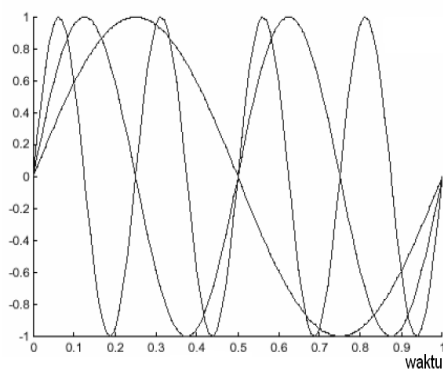
Gambar 2.1 Spektrum Multicarrier: (a) konvensional dan (b) overlap

Proses pembangkitan sinyal OFDM pada *transmitter* dimana N_s adalah jumlah *subcarrier* dan $s(t)$ adalah sinyal OFDM. Deretan simbol keluaran dari sinyal *mapper* dibagi ke dalam blok-blok yang setiap bloknya terdiri dari N_s simbol. Setiap simbol pada satu blok dipisahkan dengan *S/P converter* dimana setiap keluarannya adalah kumpulan simbol dengan nomor urutan yang sama pada tiap bloknya. Selanjutnya setiap keluaran dari *S/P converter* digunakan sebagai inputan modulator pada tiap-tiap *subcarrier* yang saling ortogonal dan dimultipleks untuk mendapatkan sinyal OFDM.

2.1.1 Ortogonalitas

Istilah *orthogonal* dalam *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) mengandung makna hubungan matematis antara frekuensi yang digunakan. Pada sistem FDM konvensional, masing-masing *carrier* dipisahkan menggunakan filter konvensional dan demodulator serta menggunakan *guard band* antara *carrier* yang berbeda, sehingga akan mengurangi efisiensi spektrum. Pada sistem OFDM jarak setiap *subcarrier* diatur agar saling *overlap* tanpa interferensi antara *subcarrier* yang berdekatan. Dua atau lebih sinyal dikatakan *orthogonal* (saling tegak lurus) jika saling bebas satu sama lain.

Contoh representasi ortogonalitas sinyal OFDM pada domain waktu untuk 3 *subcarrier* ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah. Terlihat pada contoh ini bahwa semua *subcarrier* memiliki fasa dan amplitudo yang sama, tetapi pada prakteknya fasa dan amplitudo masing-masing *subcarrier* dimodulasi secara berbeda.



Gambar 2.5 sinyal OFDM dengan 3 *subcarrier*

2.2 Cyclic Code

Cyclic code adalah subclass dari *linear block code*. *Cyclic code* dapat dengan mudah dibuat dengan melakukan *right cyclic shifts codeword* dimana semua elemen dari sebuah *codeword* digeser ke kanan dan elemen yang

terletak diakhir dipindahkan diawal dari *codeword*.

Jika *cyclic code* dinyatakan dalam bentuk polynomial,

$$v(x) = v_0 + v_1x + v_2x^2 + \dots + v_{n-1}x^{n-1} \quad (2.1)$$

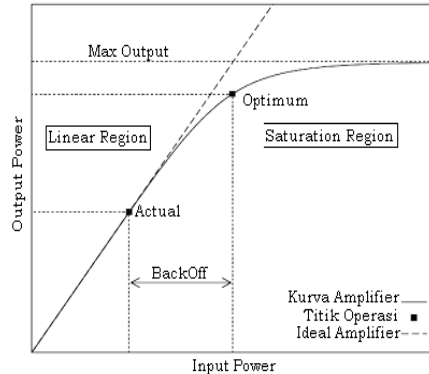
Maka *cyclic shift*-nya adalah

$$v^{(1)}(x) = v_{n-1} + v_0x + v_1x^2 + \dots + v_{n-2}x^{n-1} \quad (2.2)$$

2.3 Peak to Average Power Ratio (PAPR)

Salah satu kendala dalam sistem OFDM adalah nilai PAPRnya yang tinggi. PAPR adalah perbandingan antara daya puncak sinyal dengan daya rata-ratanya. PAPR merupakan ukuran dari fluktuasi tepat sebelum amplifier. PAPR sinyal hasil dari *mapping* PSK *base band* sebesar 0 dB karena semua simbol mempunyai daya yang sama. Tetapi setelah dilakukan proses IDFT/IFFT, hasil superposisi dari dua atau lebih *subcarrier* dapat menghasilkan variasi daya dengan nilai *peak* yang besar. Hal ini disebabkan oleh modulasi masing-masing *subcarrier* dengan frekuensi yang berbeda sehingga apabila beberapa *subcarrier* mempunyai fasa yang koheren, akan muncul amplituda dengan level yang jauh lebih besar dari daya sinyalnya.

Nilai PAPR yang besar pada OFDM membutuhkan amplifier dengan *dynamic range* yang lebar untuk mengakomodasi amplitudo sinyal. Jika hal ini tidak terpenuhi maka akan terjadi distorsi linear yang menyebabkan *subcarrier* menjadi tidak lagi ortogonal dan pada akhirnya menurunkan performansi OFDM. *Power Amplifier* (PA) merupakan salah satu komponen yang tidak linear. Idealnya, output dari PA sama dengan input yang diberikan dikalikan dengan *gain factor*. Pada kenyataannya, PA memiliki daerah linear yang terbatas sebelum daerah saturasi dari level output maksimum seperti terlihat pada gambar berikut :

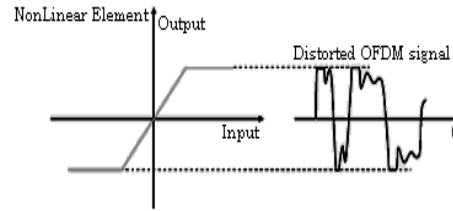


Gambar 2.1 Kurva daerah kerja power amplifier

Dari gambar diatas, PA dikatakan ideal jika berada pada daerah linear. PA kemudian

mengalami saturasi seiring dengan ertambahnya input power. Titik operasi yang paling efisien adalah pada saat saturasi. Tetapi untuk sinyal dengan nilai PAPR yang besar, titik operasi harus bergeser ke kiri (ke daerah linear) untuk mempertahankan penguatan yang linear. Pergeseran ini menyebabkan input power rata-rata berkurang dan konsekuensinya PA akan memutuhkan input power back off (IBO) untuk menjaga peak power dari sinyal lebih kecil atau sama dengan level input saturasi. Sementara itu, nilai IBO paling tidak harus lebih kecil atau sama dengan nilai PAPR sinyalnya.

PA yang tidak linear menyebabkan distorsi yang sifatnya nonlinear sehingga akan muncul *intermodulasi*, yaitu frekuensi baru pada sinyal yang ditransmisikan. Intermodulasi dapat menyebabkan terjadinya interferensi diantara *subcarrier* dan pelebaran spektral dari sinyal keseluruhan. Gejala intermodulasi ditandai dengan munculnya *Inter Carrier Interference* (ICI) dan *Adjacent Channel Interference* (ACI). Selain intermodulasi, PA yang tidak linear juga dapat menyebabkan kebocoran spektral. Hal ini dapat dikurangi dengan menaikkan IBO dari PA. Tapi solusi ini tidak memuaskan, karena menaikkan IBO selain dapat mengurangi power transmit rata-rata PA, juga akan mengurangi efisiensi PA.



Gambar 2.2 Efek linearitas power amplifier terhadap distorsi sinyal OFDM

Secara matematis, PAPR suatu sinyal $S(t)$ dideskripsikan sebagai berikut :

$$PAPR = \frac{P_{\max}}{P_{av}} = \frac{\max_{0 \leq t \leq T_s} |S(t)|^2}{E[|S(t)|^2]} = \frac{\max_{0 \leq t \leq T_s} |S(t)|^2}{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} |S(t)|^2 dt} \quad (2.3)$$

$$\text{Dimana } |S(t)|^2 = \left[\sqrt{S(t) \cdot S^*(t)} \right]^2$$

misal untuk sinyal hasil dari *mapping* PSK *base band* dinyatakan sebagai :

$$S_k(t) = A_k e^{j2\pi k t / T} \quad (2.4)$$

maka nilai daya *peaknya* sebesar :

$$\begin{aligned}
P_{\max} &= \max[S_k(t).S_k^*(t)] \\
&= \max[A_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} . A_k e^{\frac{-j2\pi kt}{T}}] \\
&= A_k^2
\end{aligned}$$

dan nilai daya rata-ratanya :

$$\begin{aligned}
P_{av} &= E\left[|S_k(t)|^2\right] \\
&= E\left[S_k(t).S_k^*(t)\right] \\
&= \frac{1}{T} \int_0^T \left(A_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} . A_k e^{\frac{-j2\pi kt}{T}} \right) dt \\
&= \frac{1}{T} \int_0^T A_k^2 dt \\
&= A_k^2
\end{aligned} \tag{2.5}$$

sehingga nilai PAPRnya sebesar :

$$\begin{aligned}
PAPR_{mapping} &= \frac{P_{\max}}{P_{av}} = \frac{A_k^2}{A_k^2} = 1 \\
&= 0 \text{ dB}
\end{aligned} \tag{2.6}$$

untuk sinyal OFDM hasil keluaran dari IDFT yang secara matematis dinyatakan sebagai

$$s_k(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} \tag{2.7}$$

Untuk penyederhanaan, diasumsikan $A_k = 1$ untuk semua *subcarrier*. Sehingga nilai *peak* sinyal :

$$\begin{aligned}
\max[s_k(t).s_k^*(t)] &= \max \left[\sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} . \sum_{k=0}^{N-1} A_k^* e^{\frac{-j2\pi kt}{T}} \right] \\
&= \max \left[A_k . A_k^* \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} e^{\frac{j2\pi kt}{T}} e^{\frac{-j2\pi kt}{T}} \right] \\
&= N^2
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Dan nilai rata-rata daya sinyalnya sebesar

$$\begin{aligned}
E[s_k(t).s_k^*(t)] &= E \left[\sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} . \sum_{k=0}^{N-1} A_k^* e^{\frac{-j2\pi kt}{T}} \right] \\
&= E \left[A_k . A_k^* \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} e^{\frac{j2\pi kt}{T}} e^{\frac{-j2\pi kt}{T}} \right] \\
&= N
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Sehingga nilai PAPRnya sebesar :

$$PAPR_{after\ IFFT} = \frac{N^2}{N} = N \tag{2.10}$$

Persamaan (2.8) menyatakan bahwa nilai PAPR maksimum pada sistem OFDM

bersifat linear dengan jumlah *subcarrier*-nya. Saat N sinyal ditambahkan dengan fasa yang sama, sinyal tersebut akan menghasilkan nilai puncak yang besarnya N kali dari daya rata-ratanya, sehingga nilai PAPR akan bertambah besar jika jumlah N diperbesar.

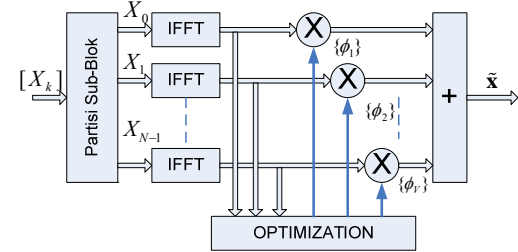
Gambar 2.3 Perbandingan PAPR (dB) terhadap jumlah *carrier*

Seperti dijelaskan sebelumnya, nilai PAPR yang tinggi memiliki beberapa efek negatif yang tidak dapat diabaikan sehingga diperlukan suatu teknik untuk mereduksinya sehingga dapat mengurangi degradasi performansi OFDM dan mengurangi nilai IBO sehingga performansi OFDM dan efisiensi penggunaan PA meningkat. Berbagai teknik reduksi PAPR telah dikembangkan dan dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu :

- *Signal distortion*, seperti *Clipping*
- *Symbol scrambling*, seperti *Selective Mapping (SLM)*, *Partial Transmit Sequence (PTS)*, *Coding (Golay Complementary codes)* dan *Dummy Sequence Insertion (DSI)*

2.4 Partial Transmit Sequence (PTS)

Tujuan utama teknik reduksi PTS adalah mendapatkan deretan sinyal dalam domain waktu yang membawa informasi yang sama tapi nilai PAPR yang berbeda.



Gambar 2.3 Skema pendekatan PTS

Seperti terlihat pada gambar 2.3, secara umum skema PTS terdiri dari tiga tahap :

1. Membagi sinyal *subcarrier* dalam domain frekuensi $\mathbf{X} = X_k$ ($k = 0, 1, \dots, N-1$) menjadi V sub-blok dimana masing-masing sub-blok X^v terdiri dari

$$M = \frac{N}{V} \text{ subcarrier, sehingga :}$$

$$\mathbf{X} = \sum_{v=0}^{V-1} \mathbf{X}^v, (0 \leq v \leq V-1) \tag{2.11}$$

2. Bangkitkan deretan fasa $b^{(v)} = e^{+j\phi^{(v)}}$ dimana $\phi^{(v)} \in [0, 2\pi)$,

untuk dikombinasikan dengan masing-masing sub-blok sehingga :

$$\tilde{\mathbf{X}} = \sum_{v=0}^{V-1} b^{(v)} \cdot \mathbf{X}^v \quad (2.12)$$

3. Sinyal sub-blok yang telah mengalami pergeseran fasa diatas kemudian diproses dengan IDFT, yang menghasilkan :

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{x}} &= \text{IDFT} \{ \tilde{\mathbf{X}} \} \\ &= \sum_{v=0}^{V-1} b^{(v)} \cdot \text{IDFT} \{ \mathbf{X}^v \} \\ &= \sum_{v=0}^{V-1} b^{(v)} \cdot \mathbf{x}^v \end{aligned} \quad (2.13)$$

Di *receiver*, informasi awal data diperoleh dengan menggunakan invers dari kombinasi fasa yang telah dipilih.

Pada langkah 1, proses pembagian *subcarrier* ke dalam subblok terdiri atas tiga teknik yaitu *adjacent*, *interleaved*, dan *pseudorandom*.

2.5 PTS dengan partisi *interleaved* (IP-PTS)

Teknik partisi *interleaved* adalah pengelompokkan *subcarrier* pada subblok secara periodik dengan periode V , sehingga :

$$\mathbf{X} = [\mathbf{I}_0, \mathbf{I}_1, \dots, \mathbf{I}_i, \dots, \mathbf{I}_{v-1}]$$

dimana

$$\mathbf{I}_i = [X_{i+dv}] \quad (d = 0, 1, \dots, M-1), \text{ sehingga}$$

jika jumlah subblok $v = 4$ maka :

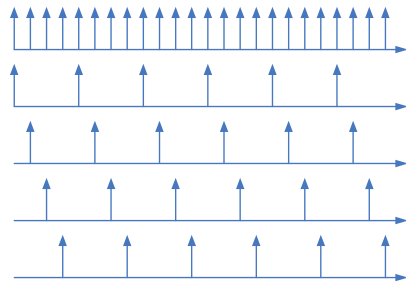
$$\mathbf{X} = [\mathbf{I}_0, \mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, \mathbf{I}_3]$$

$$\mathbf{I}_0 = [X_0, X_4, \dots, X_{N-4}]$$

$$\mathbf{I}_1 = [X_1, X_5, \dots, X_{N-3}]$$

$$\mathbf{I}_2 = [X_2, X_6, \dots, X_{N-2}]$$

$$\mathbf{I}_3 = [X_3, X_7, \dots, X_{N-1}]$$



Gambar 2.4 partisi *interleaved*

2.5 High Power Amplifier

Beberapa parameter yang penting dalam amplifier adalah *dynamic range* (*saturation point*), *bandwidth*, efisiensi, penguatan (*gain*),

linearitas. Sinyal OFDM dengan PAPR yang tinggi akan menyebabkan amplifier bekerja pada kondisi saturasi, efisiensi yang rendah, dan terjadi distorsi. Akibatnya sistem akan terbebani konsumsi daya yang tinggi, terjadinya *in band distortion*, dan *out of band radiation*. Terdapat beberapa model amplifier yang digunakan pada sistem komunikasi, antara lain TWTA dengan gain yang sangat besar untuk sistem komunikasi satelit dan SSPA (*Solid State Power Amplifiers*) untuk sistem komunikasi bergerak. Berikut ini adalah model matematis penguat SSPA

$$F(x(t)) = \frac{x(t)}{\left(1 + \left(\frac{|x(t)|}{A}\right)^{2P}\right)^{\frac{1}{2P}}}$$

(2.14)

Dengan P adalah parameter yang menentukan kelinearan daerah penguatan, sedangkan A merupakan nilai maksimum keluaran amplifier. Model amplifier yang digunakan untuk merepresentasikan ketidaklinearan. *Back Off* (BO) pada perangkat nonlinear didefinisikan sebagai :

$$\text{BO} = 10 \log \left\{ \frac{A^2}{E\{|x^2|\}} \right\}$$

(2.615)

Dimana A^2 merupakan daya output maksimum dan $E\{|x^2|\}$ merupakan daya rata-rata input. Untuk amplifier kelas A, dengan beban terkopel dengan transformator, pada model SSPA ditentukan dengan nilai $P=10$ sehingga kondisi kelinearannya cukup bagus. Biasanya efisiensi maksimum untuk amplifier kelas A yaitu 50%. Untuk sinyal dengan nilai PAPR yang besar maka terjadi penurunan efisiensi yang ditentukan sebagai berikut

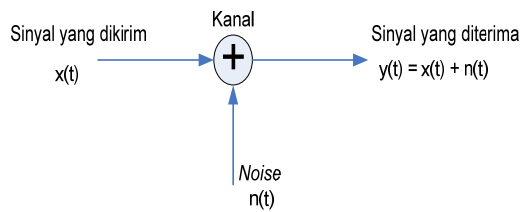
$$\eta = \frac{P_{out,ave}}{P_{DC}} \quad (2.16)$$

$$\eta_{classA} = \frac{50\%}{PAPR} \quad (2.17)$$

2.6 Kanal AWGN

Pada proses transmisi sinyal, derau atau *noise* merupakan hal alami yang selalu mendistorsi sinyal. Pada kanal, *noise* ini muncul karena berbagai sumber seperti *noise* galaksi dan *noise* terestrial. *Noise* ini menyebabkan pergerakan acak elektron pada media. Pergerakan elektron ini menyebabkan *noise* panas yang bersifat *additive* dan memiliki probabilitas berdistribusi Gaussian sehingga

sinyal yang diterima adalah penjumlahan antara sinyal yang ditransmisikan dengan *noise* panas.



Gambar 2.38 Model kanal dengan *noise* additive

Karakteristik spektral dari *noise* panas adalah memiliki respon frekuensi yang sama (*flat*) untuk semua spektrum frekuensi, sehingga hal ini biasa disebut dengan *white noise*. Kanal yang memiliki karakteristik diatas disebut *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

Fungsi pdf dari kanal AWGN dinyatakan sebagai berikut :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.18)$$

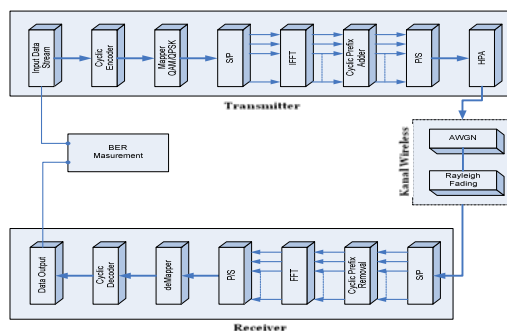
dimana :

- $p(x)$ = probabilitas kemunculan *noise*
- σ = standar deviasi
- m = rata-rata (*mean*)
- x = variabel (tegangan atau daya sinyal)

3. Pemodelan Sistem

3.1 Spesifikasi Model sistem OFDM dengan pendekatan PTS termodifikasi

Berikut ini merupakan blok umum model sistem OFDM dengan menggunakan pendekatan PTS.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem OFDM dengan pendekatan PTS

Model transceiver OFDM pada gambar 3.1 akan dimodelkan dan disimulasikan dengan skrip m-file pada Matlab 7.2.0. Komputasi data akan dilakukan dengan data-data berupa matriks.

3.3 Pada pemancar:

3.3.1 Generator data random

Generator random merupakan blok pembangkit data digital biner '0' dan '1' secara acak sebanyak jumlah bit tertentu dimana probabilitas jumlah kemunculan bit '0' dan '1' sama besarnya. Pada pemrograman Matlab, data biner dibangkitkan dengan memanfaatkan fasilitas fungsi *randint* (*1, jumlah_bit, [0 1]*).

3.3.2 Cyclic Encoder

Bit-bit dari generator data random kemudian dikodekan dengan menggunakan pengkodean siklis (*Cyclic Code*) dengan panjang *codeword* (N) 15 dan *message* (K) 8 dimana generator matriksnya :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3.3.3 Mapping M-ary PSK

Hasil keluaran serial to parallel akan dikodekan dengan MPSK. Untuk memetakan deretan bit menjadi data kompleks, sesuai dengan jenis modulatornya, akan disimulasikan untuk M = 4 dan 8.

Setiap sejumlah $\log_2 M$ bit akan dikodekan menjadi data kompleks yang memenuhi persamaan berikut ini

$$C_k = \left[\exp\left(\frac{\pi}{M}\right) \exp\left(\left(\Omega + \frac{\pi}{M}\right)\right) \exp\left(\left(2\Omega + \frac{\pi}{M}\right)\right) \dots \exp\left(\left(\Omega(M-1) + \frac{\pi}{M}\right)\right) \right] \quad (3-1)$$

dengan $\Omega = \frac{2\pi}{M}$

3.3.4 Serial to parallel (S/P)

Untuk mengubah deretan bit serial dari generator data yang berupa vector kolom menjadi data parallel, dengan mengubah ukuran matrik menjadi baris kolom. Jumlah baris sesuai dengan jumlah subcarrier yang akan digunakan pada OFDM.

3.3.5 Partial Transmit Sequence (PTS)

Pada pendekatan PTS, subcarrier OFDM di bagi menjadi beberapa sub-blok, dan fasa dari setiap sub-blok dirotasikan dengan suatu faktor pembobot untuk meminimalkan PAPR. Berikut merupakan langkah-langkah reduksi PAPR dengan pendekatan PTS:

1. Hasil mapping X_k akan dipartisi menjadi V sub-blok data yang berbeda-beda, (dalam simulasi digunakan adjacent SPS untuk memartisi X_k dengan maksud untuk tidak menambah kompleksitas sistem).
2. selanjutnya lakukan proses IFFT pada masing-masing sub-blok sehingga akan digunakan IFFT sebanyak V subblok,

3. setiap subblock hasil IFFT dikalikan dengan suatu vektor pergeseran fasa ϕ^v yang berfungsi mereduksi nilai PAPR. Pada simulasi akan digunakan jumlah fasa pembobot (WFs) : $w = 4$ rotasi ($\pm 1, \pm j$).
4. Reduksi PAPR di peroleh dengan mengkombinasikan hasil perkalian tersebut dan memilih hasil perkalian dengan nilai PAPR terendah.

Seperti pada SLM, pada pendekatan PTS akan dibutuhkan beberapa bit side informasi untuk mengindikasikan kombinasi fasa yang digunakan yang bernilai : $Rap = (V-1)\log_2 W$ bit *side information*. Dimana W merupakan jumlah kemungkinan WFs.

3.3.6 IFFT

Blok ini berfungsi untuk merubah data dari domain frekuensi ke domain waktu dengan menggunakan teknik *Fast Fourier Transform (FFT)*. Tujuan dari proses ini adalah untuk membuat orthogonalitas antara *subcarrier*, sehingga spektrumnya dalam domain frekuensi dapat dibuat saling tumpang tindih/overlapping.

3.3.7 Paralel to serial (P/S)

Setelah dilakukan IFFT simbol OFDM masih dalam bentuk parallel, untuk bisa ditransmisikan format data harus dalam bentuk serial.

3.3.8 Guard time (Cyclic Prefix)

Berfungsi untuk mencuplik v dari N buah sampel (1 simbol) output IFFT serial dengan $v < N$ dan diletakkan pada bagian depan dari setiap simbol yang dicuplik sehingga seluruh simbol OFDM menjadi periodik. Panjang v didesain sebesar $\frac{1}{4}$ dari panjang N, dengan memperhatikan bahwa v harus lebih besar dari *delay spread* maksimum.

3.3.9 Amplifier SSPA

Pada simulasi digunaka model amplifier yang digunakan adalah model SSPA, yaitu model amplifier yang sering digunakan pada sistem komunikasi bergerak.[10]

$$F(x(t)) = \frac{x(t)}{\left(1 + \left(\frac{|x(t)|}{A}\right)^{2P}\right)^{\frac{1}{2P}}} \quad (3-6)$$

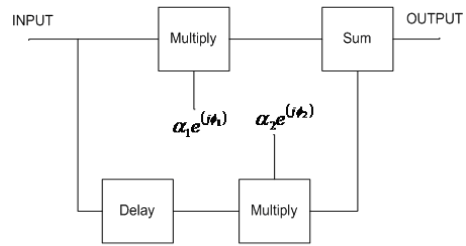
Dengan, $BO = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{E\{x^2\}} \right)$, akan

didapat nilai A untuk beberapa nilai BO, simulasi akan dilakukan untuk $BO = 6$ dB.

3.4 Kanal transmisi

Pemodelan kanal terdiri dari kanal multipath berdistribusi rayleigh dan kanal AWGN. Untuk AWGN pada simulasi akan digunakan fungsi yang terdapat pada Matlab yang akan membangkitkan noise berdistribusi Gaussian dengan daya noise disesuaikan dengan daya sinyal dan nilai SNR yang diinginkan, kemudian dijumlahkan.

Pemodelan kanal *multipath* dimodelkan terdistribusi *rayleigh* dengan metode '*Jakes two-ray model*' sebagai berikut :



Gambar 3.7 Model '*Jakes two-ray model*'

τ adalah toleransi delay spread maksimum. Koefisien tap akan digenerate dengan jakes simulator, dengan parameter sesuai dengan kondisi kanal.

3.5 Pada penerima

3.5.1 Guard time (removal)

Blok ini berfungsi untuk menghilangkan data terakhir sejumlah v pada tiap simbol OFDM, yang telah ditambahkan pada blok sistem di penerima.

3.5.2 Serial to parallel (S/P)

Untuk mengubah deretan bit serial dari generator data yang berupa vector kolom menjadi data parallel, dengan mengubah ukuran matrik menjadi baris kolom. Jumlah baris sesuai dengan jumlah *subcarrier* yang akan digunakan pada OFDM.

3.5.3 FFT

Blok FFT berfungsi untuk melakukan konversi dari deretan simbol-simbol OFDM menjadi bilangan kompleks sesuai dengan konstelasi mapping M-ary PSK pada pemancar.

3.5.4 Decision circuit decoder M-ary PSK

Blok ini berfungsi untuk melakukan pembulatan bilangan kompleks output FFT keharga mapping kompleks QPSK/8-PSK terdekat. Pergeseran nilai bilangan kompleks ini dapat terjadi akibat distorsi pada kanal.

3.5.5 Paralel to Serial

Berfungsi untuk melakukan konversi data biner digital pada setiap lengan paralel secara berurutan menjadi data biner serial.

3.5.6 Cyclic Decoder

Bit-bit yang telah didapatkan dari *demapper* kemudian di *decode* untuk mendapatkan *message* asal.

3.5.7 Perhitungan BER

Perhitungan BER akan dilakukan dengan membandingkan data input dengan data output (hasil dari *parallel to serial*) sehingga akan didapatkan jumlah bit yang error, dan akan diperoleh besarnya BER untuk SNR tertentu.

3.6 Parameter simulasi sistem OFDM pada kanal *Multipath Rayleigh*

Spesifikasi sistem yang diinginkan adalah : dukungan layanan data 400 kbps dengan toleransi *delay spread* pada interval 10 - 15 μ s. Nilai *delay spread* ini merupakan tipikal *delay spread* maksimum pada propagasi mikro sel dengan radius 5 km[23]. *Data rate* 400 kbps merupakan nilai pendekatan *data rate* transmisi seluler generasi ketiga sebesar 384 kbps-2Mbps.

Berdasarkan persyaratan spesifikasi yang dijelaskan di awal bab ini maka perencanaan sistem dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Jumlah *carrier* yang digunakan yaitu : 128 *subcarrier*, sesuai dengan jumlah point FFT. Kondisi ini berarti pemakaian keseluruhan jumlah *carrier* pada point FFT.
2. Jenis modulasi yang digunakan adalah QPSK dan 8-PSK
3. Bit rate 400 kbps
4. Simbol rate

Untuk QPSK, simbol rate (R_s) = $R_b / \log_2 M = 0.2 \cdot 10^6$ (simbolps)

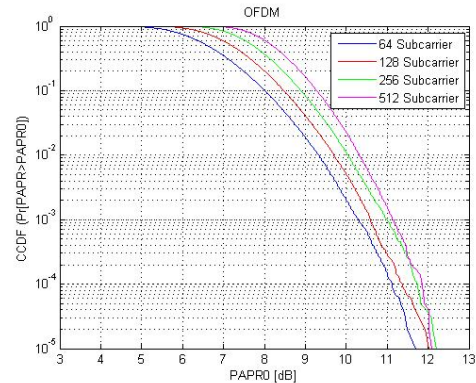
Untuk 8-PSK, simbol rate (R_s) = $0.133 \cdot 10^6$ (simbolps)

5. Delay Spread pada interval 10-15 μ s
6. Nilai frekuensi carrier diasumsikan sebesar 2GHz dan dengan kecepatan user 0 km/jam, sehingga nilai frekuensi *doppler*-nya adalah 0Hz.
7. Perhitungan unjuk kerja sistem berdasarkan nilai grafik CCDF pada masing-masing pendekatan teknik reduksi dan grafik BER terhadap SNR untuk melihat pengaruh penggunaan kedua teknik reduksi terhadap kinerja sistem.

4. Analisis Hasil Simulasi

4.1 Simulasi Nilai PAPR dengan beberapa subcarrier

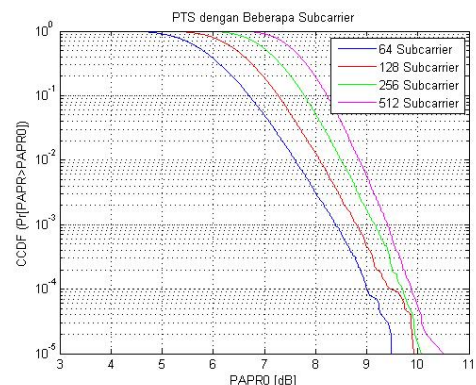
Gambar 4.1 menunjukkan grafik CCDF untuk jumlah faktor fasa pengali (U) yang berbeda-beda.



Gambar 4.1 grafik CCDF sinyal OFDM dengan jumlah *subcarrier* 64, 128, 256 & 512

Dari gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa besarnya nilai PAPR meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah *subcarrier* pada sistem. Hal ini terjadi karena banyaknya *subcarrier* memperbesar kemungkinan munculnya *peak power* yang lebih tinggi.

Besarnya perbedaan PAPR maksimum untuk $N = 64$ dengan $N=512$ adalah 0,5 dB. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *subcarrier* yang semakin banyak bukan faktor utama tingginya nilai PAPR.

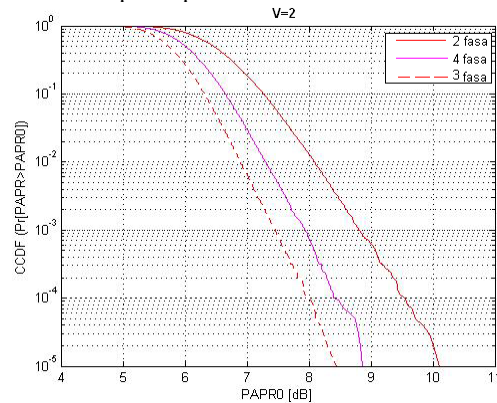


Gambar 4.2 grafik CCDF PAPR pada PTS dengan jumlah *subcarrier* 64, 128, 256, dan 512

Pada gambar terlihat bahwa jarak PAPR antar *subcarrier* semakin lebar dengan aplikasi PTS.

4.2 Pengaruh jumlah kombinasi fasa pada PTS terhadap PAPR.

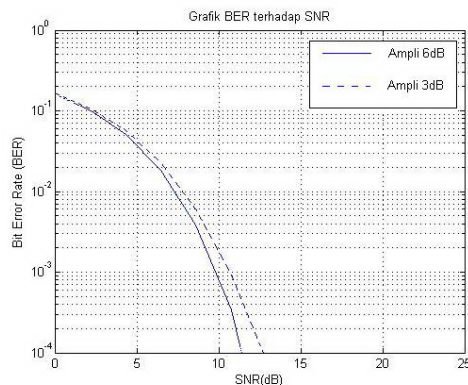
Simulasi dilakukan untuk melihat kinerja sistem dengan mengubah-ubah besarnya kombinasi fasa pada PTS.



Gambar 4.3 Kinerja reduksi PAPR pada PTS dengan berbagai kombinasi fasa

Gambar 4.3 menunjukkan pula perbandingan kinerja antara sistem OFDM dengan teknik PTS. Perbedaan nilai PAPR disebabkan karena besarnya jumlah kombinasi fasa memungkinkan sinyal diminimalisir lebih banyak.

4.3 Pengaruh Amplifier terhadap penurunan BER



Gambar 4.4 Grafik nilai BER pada dua nilai OBO

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan gambar diatas, penambahan Back Off pada amplifier mampu mengurangi besarnya perbandingan antara SNR dengan BER.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi sistem dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin besar jumlah *subcarrier*, nilai PAPR semakin meningkat. Nilai perbedaan PAPR dari dua *subcarrier* yang berbeda adalah sekitar 1 dB.

- Penambahan jumlah partisi pada teknik PTS dapat mengurangi nilai PAPR sampai sebesar 2,5 dB. Tetapi menambah durasi komputasi.
- Penambahan jumlah kombinasi fasa pada PTS mampu mengurangi PAPR tetapi juga menambah waktu komputasi.
- Pemakaian *cyclic coding* pada system OFDM mampu mengurangi BER sehingga nilainya konstan untuk 64, 128, 256 dan 512 *subcarrier*.
- Pemakaian *cyclic coding* menambah nilai PAPR sampai sebesar 2 dB.
- Parameter (n,k) dalam *coding* perlu ditentukan supaya menghasilkan BER yang diharapkan dengan *bandwidth* yang tersedia

6. Saran

- Teknik komputasi yang efektif perlu dikembangkan dalam penentuan nilai yang tepat untuk nilai dan jumlah kombinasi fasa dalam waktu yang singkat.
- Perlu dipertimbangkan jumlah *subcarrier* dalam perancangan sistem OFDM sehingga mampu mengcover seluruh *client* dengan PAPR yang minim.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Park, Don-Hyung, *PAPR Reduction of an OFDM signal by use of PTS with minimum linear distortion*, IEICE Electronics Express, Vol.4, No.13.
- [2] Müller, Stefan H., November 1997, *A Comparison of Peak Power Reduction Schemes For OFDM*, IEEE Global Telecommunication Conference
- [3] Tellambura, C., *PAR reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences*, Monash University
- [4] Stott, J.H, *The how and why COFDM*, BBC Research and Development
- [5] Lu, Guangyue, *Partial Transmit Sequences method for reduction of PAPR in real-valued OFDM Systems*, Uppsala University, Sweden
- [6] Budianto, *Sistem Komunikasi 2*, IT Telkom
- [7] www.dsprelated.com
- [8] www.mathworks.com

- [9] Rappaport, Theodore S., *Wireless Communication*, Prentice Hall, New York, 1996
- [10] Proakis John G., Manolakis Dimitris G., “*Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*”, Prentice Hall, 1996
- [11] Keithley Instruments, *An Introduction to Orthogonal Frequency Division Multiplex Technology*, 2007
- [12] Saputra, Dona, “*Perbandingan Kinerja Sistem OFDM dengan Reduksi PAPR menggunakan A-Law dan μ -Law Companding*”. STT Telkom, Bandung, 2005