

BAB IV

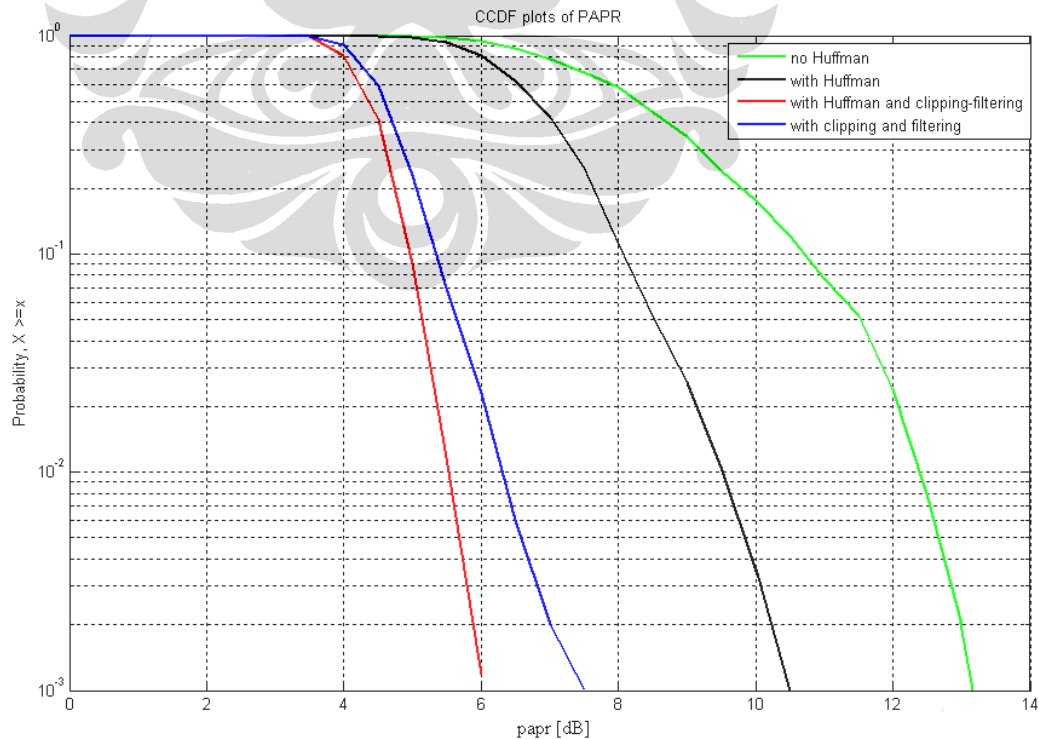
HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Simulasi yang dilakukan menggunakan parameter-parameter sebagai berikut:

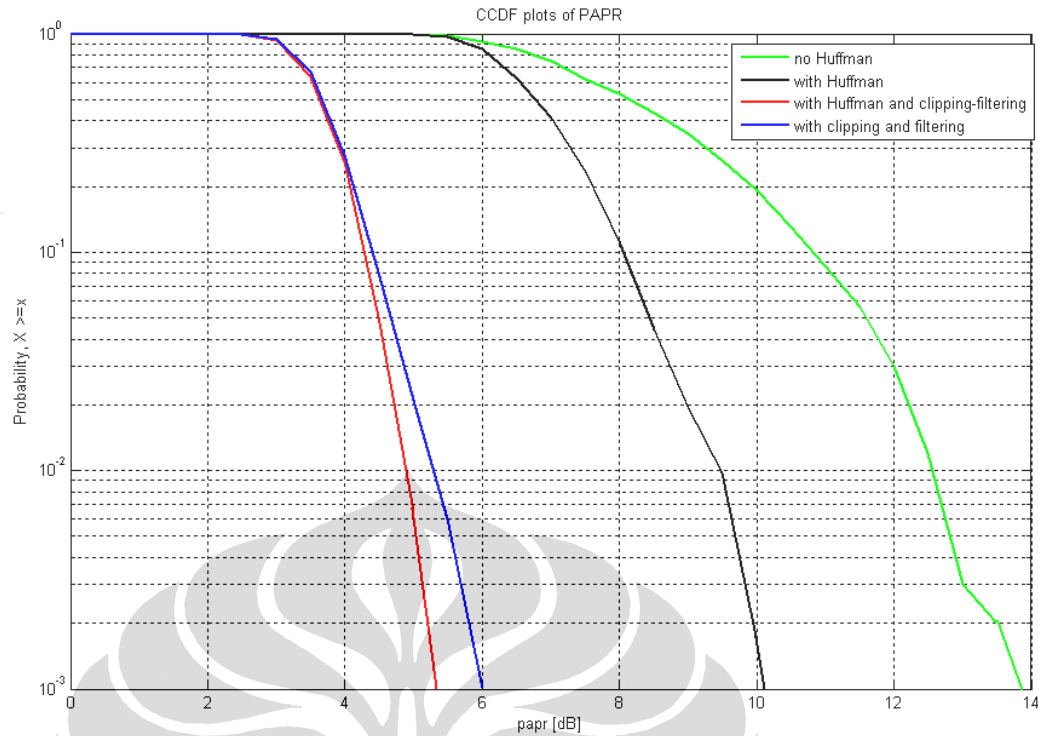
- Modulasi QPSK dan 16QAM
- Jumlah subcarrier = 52 [IEEE 802.11a]
- Jumlah titik IFFT = 128
- Panjang CP = 25% [12]
- *Clipping ratio* = 1,4 [18]
- Faktor kehalusan penguat daya Rapp, $p = 2$
- IBO = 0, 2, dan 5 dB

4.1 Analisis Simulasi PAPR

Grafik CCDF terhadap PAPR dengan menggunakan modulasi QPSK dan 16QAM ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2 berturut-turut. Kedua simulasi tersebut menggunakan IBO = 2 dB.



Gambar 4.1. Grafik CCDF terhadap PAPR dengan modulasi QPSK



Gambar 4.2. Grafik CCDF terhadap PAPR dengan modulasi 16QAM

Dari Gambar 4.1 di atas terlihat bahwa sistem dengan penggunaan *Huffman coding* dan *clipping – filtering* PAPR turun sekitar 7 dB untuk probabilitas 10^{-2} . Penurunan PAPR dengan metode penggabungan tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan metode *Huffman coding* dan *clipping – filtering* jika diterapkan sendiri-sendiri. Pada probabilitas 10^{-2} , dengan menggunakan *Huffman coding* saja maka penurunan PAPR hanya sekitar 3 dB dan dengan menggunakan *clipping-filtering* saja hanya menurunkan PAPR sekitar 6 dB.

Hal tersebut dikarenakan *Huffman coding* akan mereduksi simbol-simbol yang sering muncul sehingga probabilitas mengulang simbol yang sama akan dieliminasi yang akan mencegah penjumlahan (superposisi) koheren dari sinyal-sinyal *multicarrier* yang menyebabkan *peak* yang sangat besar [13]. *Peak* baru yang timbul akibat *Huffman coding* diharapkan dapat diatasi dengan CF, sehingga penurunan PAPR akan lebih optimal. Selain itu, spektrum *out-of-band* dapat dikurangi sehingga meminimalkan interferensi dengan kanal sebelah seperti akan dibahas pada subbab 4.2.

Pada Gambar 4.2 terlihat juga bahwa sistem yang menggunakan *Huffman coding* dan CF memiliki PAPR yang lebih rendah. Pada probabilitas 10^{-2}

penurunan PAPR adalah sekitar 7,5 dB. Jika menggunakan CF saja penurunan PAPR nya adalah sekitar 7 dB. Dengan menggunakan *Huffman coding* saja penurunan PAPR adalah sekitar 3 dB.

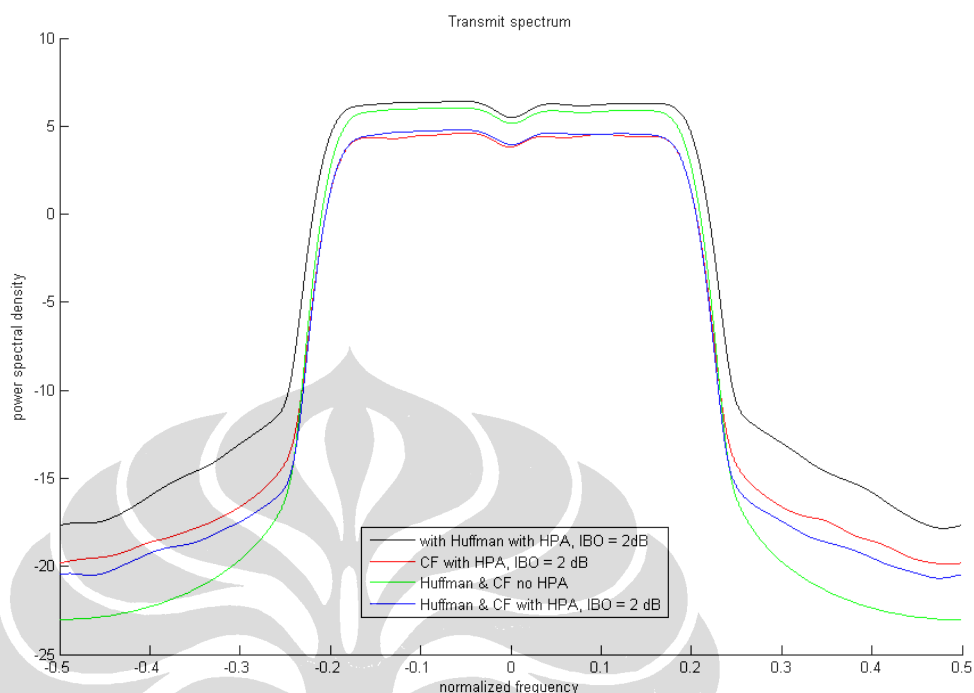
Perbandingan antara Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dijelaskan sebagai berikut. Sebelum dilakukan reduksi PAPR (grafik warna hijau) terlihat bahwa dengan menggunakan modulasi 16QAM PAPR yang dihasilkan lebih besar sedikit dibandingkan dengan yang menggunakan modulasi QPSK. Hal tersebut dikarenakan untuk pada modulasi 16QAM dikirim 4 bit untuk satu simbol sedangkan pada modulasi QPSK hanya mengirim 2 bit untuk satu simbol sehingga daya yang diperlukan untuk 16QAM lebih besar.

Setelah dilakukan reduksi dengan menggunakan *Huffman coding* (grafik warna hitam) terlihat relatif tidak berbeda banyak karena sifat dari *Huffman coding* yang mengkodekan simbol yang paling sering muncul dengan jumlah bit yang paling sedikit. Untuk reduksi dengan menggunakan CF dan kombinasi *Huffman coding* dan CF terlihat bahwa dengan menggunakan 16QAM tereduksi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan QPSK. Hal ini disebabkan karena daya rata-rata sistem yang menggunakan 16QAM lebih besar dibandingkan yang menggunakan QPSK. Dengan CR yang sama maka nilai PAPR sistem dengan 16QAM lebih rendah dibandingkan dengan sistem QPSK.

4.2 Analisis Simulasi *Power Spectrum Density*

Power density spectrum (psd) dari berbagai kombinasi teknik reduksi PAPR juga ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dari gambar tersebut tampak bahwa HPA sangat mempengaruhi *out-of-band spectrum* (OOB). Hal tersebut dapat dilihat untuk psd dengan menggunakan *Huffman coding* dan CF tanpa dan dengan HPA berbeda sekitar 3 dB, lebih tinggi yang menggunakan HPA. Namun demikian, jika dibandingkan antara sistem yang menggunakan *Huffman coding* saja, CF saja, dan kombinasi *Huffman coding* dan CF dengan ketiganya menggunakan HPA yang sama, maka sistem dengan *Huffman coding* dan CF yang mempunyai OOB paling rendah. Selain itu, *filtering* mengakibatkan menurunnya *bandwidth*. Gambar 4.3

menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan CF mempunyai *bandwidth* lebih sempit dibandingkan sistem yang tidak menggunakan CF.



Gambar 4.3. Power spectrum density

OOB yang tinggi berarti sinyal tersebut masih dapat mempengaruhi kanal tetangganya atau dengan kata lain dapat menimbulkan interferensi dengan kanal tetangganya. Oleh sebab itu, diharapkan OOB nya serendah mungkin sehingga jika memungkinkan bentuk psd diharapkan berbentuk kotak. Namun dalam praktis hal tersebut tidak dapat terjadi. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa *Huffman coding* & CF dapat menurunkan OOB secara signifikan, namun penggunaan HPA dapat menaikkan kembali OOB karena HPA adalah suatu perangkat *nonlinear*. Namun demikian, jika dibandingkan OOB antara sistem-sistem yang menggunakan HPA, sistem yang menggunakan *Huffman coding* & CF yang paling rendah.

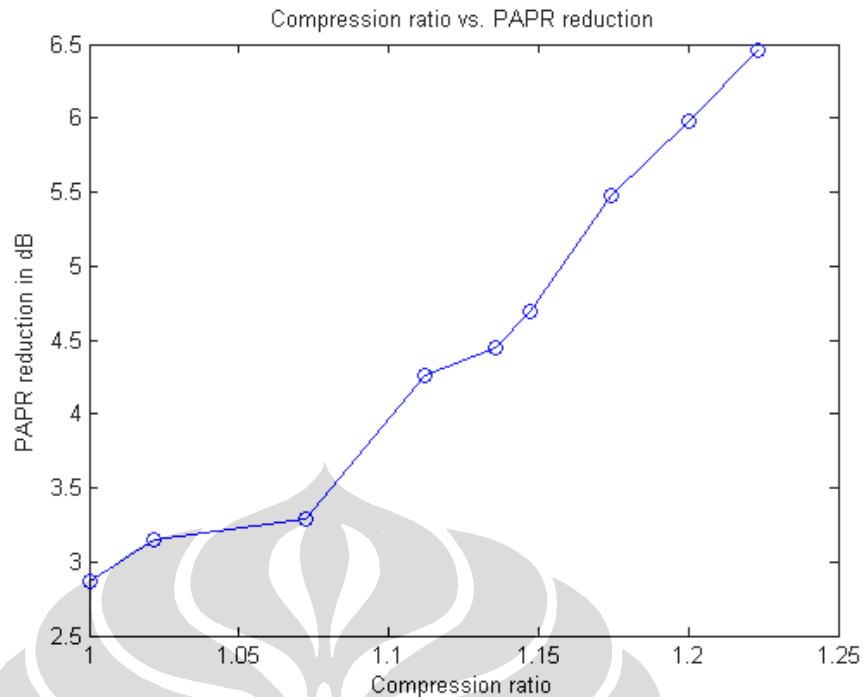
Jika dibandingkan antara sistem yang menggunakan *Huffman coding* tanpa CF dan dengan CF terlihat bahwa yang menggunakan CF memiliki OOB lebih rendah. Hal tersebut disebabkan karena efek dari *filtering* yang telah dipaparkan pada subbab 2.9. *Filtering* akan menurunkan OOB secara signifikan karena *filtering* menghilangkan frekuensi tinggi.

4.3 Analisis Simulasi *Huffman Coding* Terhadap Reduksi PAPR

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *Huffman coding* tergantung pada probabilitas munculnya simbol. Simbol yang probabilitas kemunculannya besar akan dikodekan dengan panjang bit yang paling pendek. Jika kemunculan simbol-simbol tersebut seragam dalam pengertian probabilitas munculnya hampir sama, maka semua simbol akan dikodekan dengan panjang yang sama. Hal tersebut berarti tidak ada reduksi yang dilakukan oleh *Huffman coding* sehingga *Huffman coding* tidak berperan dalam reduksi PAPR. Parameter yang menyatakan efektivitas *Huffman coding* adalah *compression ratio* yang dirumuskan sebagai:

$$(4.1) \quad \text{compression ratio} = \frac{\text{the number of symbols before Huffman coded}}{\text{the number of symbols after Huffman coded}} \dots$$

Karena pada sistem ini *Huffman coding* dikombinasikan dengan CF, maka ketika *Huffman coding* tidak berperan dalam reduksi PAPR (karena probabilitas kemunculan simbol hampir sama) maka reduksi PAPR akan tetap dilakukan oleh CF. Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh *compression ratio* terhadap penurunan PAPR.



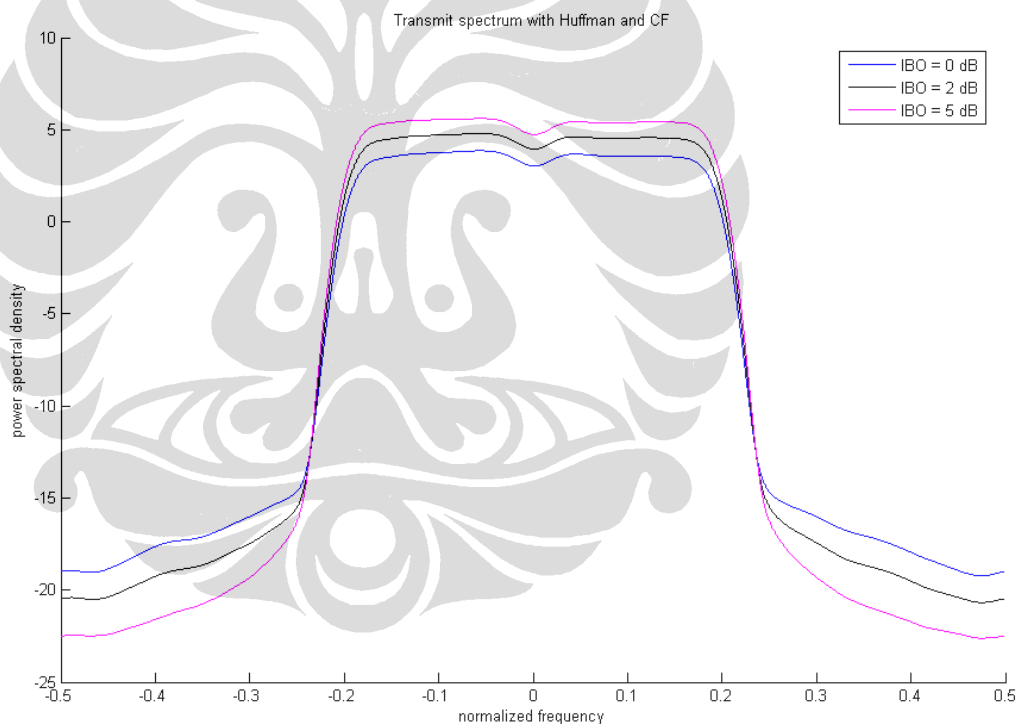
Dari Gambar 4.4 tersebut terlihat bahwa semakin besar *compression ratio* maka akan semakin besar pula reduksi PAPR. Ketika *compression ratio* = 1, yang artinya banyaknya simbol sebelum dikodekan sama dengan banyaknya simbol setelah dikodekan, maka terjadi reduksi PAPR sekitar 3 dB yang disebabkan oleh proses CF saja. Semakin besar *compression ratio* maka PAPR akan semakin tereduksi. Gambar 4.4 menunjukkan ketika *compression ratio* sekitar 1,225, PAPR tereduksi sekitar 6,5 dB. Huffman coding mempunyai batasan yaitu panjang kodenya pasti batasan $H \leq \text{code length} \leq H+1$, dengan H adalah entropi [22]. Sehingga *compression ratio Huffman coding* tidak tak berhingga.

4.4 Analisis Simulasi IBO Terhadap psd

Pengaruh penguat daya model Rapp yang ditunjukkan oleh parameter IBO ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Seperti yang telah diketahui bahwa IBO berhubungan dengan linearitas dari suatu penguat daya. Oleh karena itu semakin besar nilai IBO maka akan semakin linear penguat daya tersebut dan akan semakin mendekati ideal. Namun, dalam praktis tidak akan pernah dijumpai penguat daya ideal.

Dilihat dari fungsi alih penguat daya pada Gambar 3.4 maka dapat disimpulkan bahwa pada penguat daya akan terjadi proses *clipping* "tambahan" lagi. Telah disebutkan juga pada Subbab 2.9 bahwa *clipping* akan menyebabkan *out-of-band spectrum* yang cukup signifikan. Oleh karena itu, suatu penguat daya dengan nilai IBO yang lebih kecil akan mempunyai OOB yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.5 terlihat untuk IBO = 0 dB dan IBO = 5 dB, selisih spektrum OOB nya sekitar 4 dB.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, OOB yang lebih rendah lebih diharapkan untuk menghindari interferensi dengan kanal tetangga. Oleh karena itu, penggunaan HPA dengan IBO yang lebih besar akan lebih baik. Namun, dalam praktis sulit menemukan HPA dengan nilai IBO yang besar karena selain lebih kompleks harganya lebih mahal.



Gambar 4.5. Pengaruh IBO terhadap psd

4.5 Evaluasi Probabilitas Simbol *Error*

Seperti yang telah diketahui *Huffman coding* merupakan jenis kompresi *lossless* yang berarti tidak ada informasi yang hilang. *Huffman coding* hanya mengubah "bentuk" simbol-simbol yang akan dikirimkan menjadi bit nol dan satu. Secara

teori *Huffman coding* tidak menyebabkan kesalahan penerimaan (*symbol error*) pada *receiver*. Namun demikian, berbeda halnya ketika bit-bit *Huffman coding* dilewatkan melalui kanal, baik itu kanal AWGN ataupun kanal Rayleigh atau gabungan dari keduanya. Ketika, katakanlah, ada satu bit yang salah pada *receiver*, bukan tidak mungkin proses dekoding akan menjadi salah, yang disebabkan adanya perbedaan antara “kamus *Huffman*” dengan bit-bit yang diterima. Kasus terburuk adalah bit-bit tersebut tidak dapat didekodekan karena ada data yang tidak terdapat pada “kamus *Huffman*”.

Berbeda halnya dengan *clipping*. *Clipping* akan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirimkan. Jika menerapkan *clipping* maka akan terjadi penurunan *bit error rate* (BER) atau probabilitas simbol *error* yang besar walaupun tidak dilewatkan melalui kanal (atau dilewatkan pada kanal ideal). *Clipping* akan menyebabkan dua hal pada konstelasi sinyal yang dikirimkan [19]:

1. Ada penyusutan konstelasi (*constellation shrinking*) karena daya sinyal rata-rata yang yang dikirimkan menurun
2. Ada efek seperti *noise* (*noise like effect*) yang disebabkan oleh distorsi dan hal ini disebut sebagai *clipping noise*.

Penyusutan konstelasi dapat diperbaiki dengan menyesuaikan penguatan penguat daya (*amplifier gain*), g_0 pada persamaan (3.12) sehingga daya rata-rata yang dikirimkan akan sama dengan ketika sistem tanpa *clipping*. Karena itu, hanya *clipping noise* yang akan mempengaruhi simbol *error*. Faktor lain yang menyebabkan probabilitas simbol *error* lebih kecil daripada yang diharapkan adalah bahwa *clipping noise* ditambahkan pada *transmitter* bukan pada *receiver*. Ketika sinyal tersebut dilewatkan pada kanal Rayleigh maka *clipping noise* juga akan mengalami *fading* bersama dengan sinyal informasinya. Hal ini mengurangi efek dari *clipping noise* dibandingkan jika *clipping noise* ada pada *receiver*, yang mana tidak mengalami *fading*.

Secara keseluruhan, sistem *receiver* pada sistem OFDM lebih kompleks daripada sistem *transmitter* sehingga diperlukan juga *error-correcting coding* untuk mengatasi masalah-masalah tersebut. Dekoding untuk sistem ini akan dilakukan pada penelitian mendatang dan di luar bahasan pada tesis ini.