

# EVALUASI KINERJA OFDMA DENGAN MODULASI ADAPTIF PADA KANAL *DOWNLINK*

Deni Ade Putra<sup>1)</sup>, Ajub Ajulian Zahra<sup>2)</sup>, Imam Santoso<sup>2)</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

## ABSTRACT

*Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) is a multiple access method is prepared to apply to wireless networks-4th generation. By leveraging OFDM technology (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), a wide channel can be divided into several narrow subkanal, each of which can be used to transmit data in parallel. OFDMA develop, so that a channel can be shared by several users. If the entire OFDM subcarrier is used only by one user, the OFDMA subcarrier is allocated in such a way as to the number of users.*

*In this final task, investigated the use of subcarrier allocation technique multiakses FDMA systems used in OFDM. And the use of adaptive modulation in OFDMA systems. In the simulation, compared the use of techniques multiakses Block and Interleaved FDMA, the use of adaptive modulation and fixed modulation, and influences the use of channel coding in OFDMA adaptive modulation. Adaptive modulation is used depends on the feedback provided in accordance with the existing channel conditions or in accordance with the received SNR value. The mechanism allows the sending retransmissions of corrupted data back but reduce performance. Adaptive modulation technique is expected to reduce retransmissions by changing the level of modulation (BPSK, QPSK, 16QAM, and 64QAM), the target BER is used in adaptive modulation is  $10^{-2}$  and  $10^{-3}$ , the use of channel coding in wireless communication system also serves to reduce retransmissions by providing bits redundancies that will improve system performance. Channel coding is used convolutional code and transmission channel used is AWGN.*

*Simulation results show that the subcarrier block allocation techniques and Interleaved FDMA on the AWGN channel did not show differences signifikan BER value. Dengan adaptive modulation system can be optimum in improving datarate the condition of the channel. The use of convolutional coding to show significant performance, the difference in SNR for threshold BER  $10^{-3}$  for BPSK, QPSK, 16QAM, and 64QAM, respectively  $\pm 4$ dB, 2dB, 3dB, and 3dB.*

**Keywords:** OFDMA, Adaptive Modulation, Convolutional code, AWGN, BER, SNR

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

*Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) merupakan metoda akses jamak yang memanfaatkan teknologi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), sebuah kanal lebar dapat dibagi menjadi beberapa subkanal sempit, yang masing-masingnya dapat digunakan untuk mengirimkan data secara paralel. OFDMA mengembangkan kemampuan OFDM, sehingga sebuah kanal dapat digunakan bersama-sama oleh beberapa user.*

*Subcarrier pada OFDMA dibangkitkan melalui proses Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) yang menghasilkan spektrum yang saling overlap, namun orthogonal. Sifat orthogonal di antara subcarrier-subcarrier yang tersedia, memungkinkan masing-masing user melakukan transmisi data secara simultan tanpa saling mengganggu satu sama lain. Pada komunikasi mobile, user umumnya berada pada lingkungan fisik yang berbeda, sehingga memiliki kondisi kanal yang berbeda. Kondisi kanal memungkinkan frekuensi subcarrier memperoleh gain yang buruk, Salah satu cara yang dapat diterapkan adalah menggunakan teknik modulasi adaptif pada OFDMA. Pada modulasi adaptif transmitter mengadaptasi mode transmisi dengan kondisi kanal, hal ini secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan bandwidth dan kualitas sambungan. Apabila*

kualitas sambungannya cukup baik, maka digunakan level modulasi yang lebih tinggi, namun apabila kualitas link menurun, sistem modulasinya digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kesetabilan dan kualitas sambungan.

### Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah membandingkan kinerja penerapan teknik alokasi subcarreir Block dan Interleaved FDMA, penerapan modulasi adaptif dengan modulasi tetap (BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM) serta penggunaan channel coding pada kanal AWGN. Target BER yang dipakai  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ .

### Batasan Masalah

Agar pembahasan atau analisis tidak melebar dan terarah, maka permasalahan dibatasi pada :

1. Penelitian ini dilakukan dalam tataran baseband. Baik sinyal input maupun output yang dihasilkan.
2. Kanal yang digunakan adalah kanal AWGN.
3. Modulasi digital yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.
4. Ukuran kinerja simulasi berupa grafik BER terhadap SNR.

1) Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

2) Dosen Teknik Elektro UNDIP

- Variabel yang dicobakan dalam simulasi ini adalah variasi penggunaan jenis tipe alokasi *subcarrier*, adaptif modulasi dengan BER  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ , modulasi tetap (BPSK, QPSK, 16QAM, dan 64QAM), serta penggunaan *convolutional coding*.

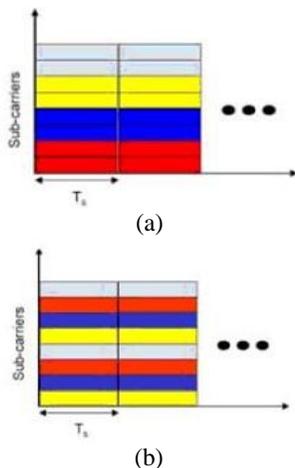
## II. LANDASAN TEORI

### Sistem OFDMA

OFDMA merupakan sistem multiuser berbasis OFDM yang menggabungkan teknik multiakses yang saat ini telah digunakan dalam sistem komunikasi wireless. Multiakses memungkinkan beberapa *user* berbagi spektrum frekuensi secara simultan tanpa saling mengganggu. Saat ini ada beberapa metode multiakses, antara lain : FDMA, TDMA dan CDMA. Dalam Tugas akhir ini menggunakan metode multiakses FDMA, sehingga sistem OFDMA yang dipakai adalah OFDM-FDMA.

### OFDM-FDMA

Metode OFDM-FDMA membagi *user* dengan menempatkannya pada set *subcarrier* yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan alokasi *subcarrier* ke *user*, bentuk variasi OFDM-FDMA yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Block* dan *Interleaved* FDMA.



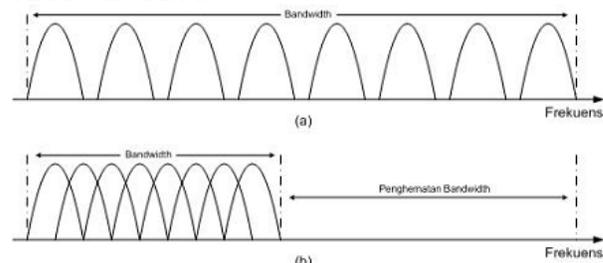
Gambar 1. (a)Block & (b)Interleaved FDMA [6]

### Sistem OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah bentuk khusus dari *multi-carrier modulation* (MCM) yang membagi aliran data dengan kecepatan tinggi ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui beberapa *subcarrier*. Pada OFDM, data masukan dialirkan ke beberapa *subcarrier* paralel yang saling orthogonal dengan laju data yang lebih rendah. Dengan sifat orthogonalitas ini maka antar subcarrier dapat dibuat *overlap* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). *Multiplexing subcarrier* secara *overlap* tersebut tentu saja dapat menghemat *resource* berupa *bandwidth*. Sedangkan pada sistem transmisi multicarrier konvensional, untuk mengirimkan data secara paralel digunakan beberapa *carrier* yang tidak *overlap*, selain itu

dibutuhkan juga *guard band* untuk membatasi *carrier* satu dengan yang lainnya. Pada OFDM, sifat orthogonal ini dapat dibangkitkan dengan menggunakan IFFT (*Inves Fast Fourier Transform*). IFFT digunakan pada modulasi dan FFT pada demodulasi sinyal OFDM.

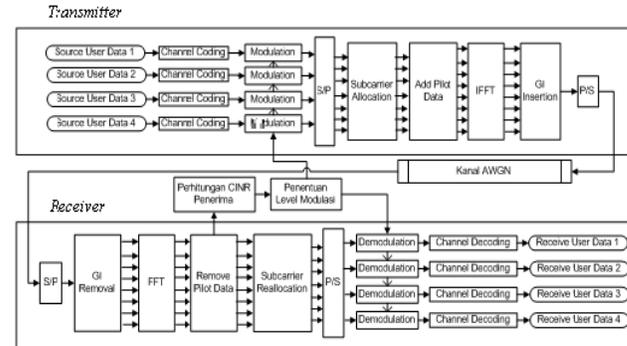
Tidak seperti sistem MCM tradisional, dimana tiap *subcarrier*-nya tidak *overlapping*, OFDM menggunakan *subcarrier* yang secara matematis bersifat saling orthogonal satu dengan yang lain sehingga informasi bisa dikirim pada *subcarrier-subcarrier* paralel yang saling *overlapping*. Oleh karena itu, sistem yang berbasis OFDM memiliki efisiensi spektrum yang lebih tinggi dari pada sistem MCM tradisional semisal FDM. Gambar 2 memperlihatkan perbandingan penggunaan spektrum FDM dan OFDM.



Gambar 2. Perbandingan spektrum OFDM dan MCM tradisional (FDM)

Dari gambar 2 terlihat bahwa penghematan penggunaan *bandwidth* pada OFDM hampir 50% lebih hemat dari pada sistem MCM tradisional. Penghematan ini dapat dicapai karena penggunaan frekuensi *subcarrier* yang saling orthogonal, sehingga *subcarrier* dapat disusun secara *overlapping* satu dengan yang lain.

### Pemancar dan Penerima OFDMA



Gambar 4. Transceiver & Receiver OFDMA

Pemancar dalam sistem OFDMA terdiri dari *bit generator*, *channel coding* (*convolutional coding*), *modulator*, *Serial to Parallel* (S/P), *Alokasi Subcarrier*, *Pilot Insertion*, *IFFT*, *Guard Interval*, dan *Parallel to Serial* (P/S). Persamaan untuk IFFT adalah sebagai berikut.

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan  $N$  adalah jumlah *subcarrier* dan  $n$  adalah *subcarrier* ke- $n$ .

Kemudian simbol-simbol OFDMA yang masih dalam bentuk paralel akan diubah kembali menjadi bentuk serial pada blok *parallel to serial*. Sinyal tersebut akan diberi tambahan *guard interval* yang untuk mengurangi terjadinya ISI (*Intersymbol Interference*).

Proses yang terjadi pada penerima adalah kebalikan dari proses yang dilakukan pada pemancar. *Receiver* akan membawa sinyal terima yang telah melalui kanal, kemudian dipisahkan antara sinyal pilot dengan data, sinyal pilot diestimasi untuk mendapatkan nilai  $\hat{SNR}$  yang diperlukan sebagai variabel acuan dalam proses modulasi adaptif, lalu sinyal data dilakukan proses kebalikan seperti yang terjadi pada pemancar sampai didapatkan data-data kembali sesuai seperti saat dikirimkan.

### Modulasi Adaptif

Mekanisme modulasi adaptif yang dilakukan berdasarkan umpan balik yang diberikan oleh penerima sesuai dengan diagram blok pada Gambar 4. Simulasi yang digunakan pada tugas akhir ini memperhatikan nilai  $\hat{SNR}$  terhadap BER sehingga berdasarkan grafik data tersebut *Transmitter* sebagai pengirim, akan menjaga level BER yang diinginkan dengan mengubah-ubah level modulasi yang digunakan, tentunya sesuai dengan umpan balik yang telah diberikan oleh penerima. Berikut mekanisme teori modulasi adaptif yang dipakai pada simulasi ini :

- Berdasarkan nilai BER, ukur info SNR untuk masing-masing level modulasi pada kanal transmisi yang digunakan.
- Karena nilai BER yang diinginkan tetap terjaga, pemilihan level modulasi diprioritaskan untuk modulasi yang mempunyai *datarate* besar.
- Ukur nilai  $\hat{SNR}$  yang diterima oleh penerima
- Berikan umpan balik ke *Transmitter* sesuai dengan pemilihan level modulasi (BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM) berdasar nilai Target BER yang diinginkan.

Penentuan batasan nilai SNR untuk target BER  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$  dapat mengacu pada hasil pengambilan data masing-masing modulasi (BPSK, QPSK, 16QAM, dan 64QAM). Untuk melakukan Estimasi SNR, data nilai CINR Pilot yang diterima oleh *receiver* dinormalisasi menggunakan model regresi linier, karena kanal AWGN juga merupakan model kanal linier. Penggunaan model regresi linier bertujuan agar Estimasi SNR mendekati nilai SNR sebenarnya. Estimasi SNR dalam model regresi linier sederhana ditulis dalam bentuk :

$$\hat{SNR} = b_0 + b_1 * CINR$$

Koefisien regresi linier dihitung dari :

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n CINR_i * SNR_i - n * \overline{CINR} * \overline{SNR}}{\sum_{i=1}^n CINR_i^2 - n * \overline{CINR}^2} \text{ dan}$$

$$b_0 = \overline{SNR} - b_1 \overline{CINR}$$

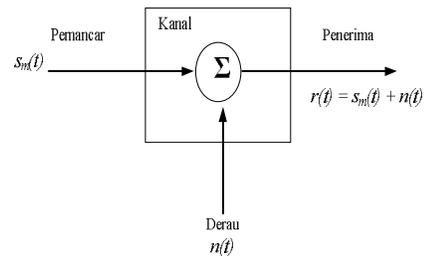
### Pengkodean Informasi

*Channel coding* berfungsi untuk menjaga informasi atau data digital dari *error* yang mungkin terjadi selama proses transmisi dengan cara menambahkan bit redundansi (tambahan) ke dalam data yang akan dikirimkan.

### Convolutional code

*Convolutional code* adalah jenis kode yang memiliki perbedaan mendasar dari *block code*. Proses yang terjadi adalah bit informasi sebagai masukan secara kontinu *dimapping* kedalam urutan bit output *encoder*. Pada pengkodean konvolusi ini, tiap *codeword* selain bergantung pada *message* yang bersesuaian juga tergantung pada  $m$  blok *message* sebelumnya. Satu set *codeword* dengan  $k$  input,  $n$  output dan tingkat memori  $m$  disebut dengan kode konvolusi  $(n,k,m)$ . *Rate* kode didefinisikan  $R = k/n$ .

### Kanal AWGN



Gambar 5. Pemodelan Kanal AWGN

Dalam komunikasi, kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *Gaussian* dari *sample noise*. Kanal ini tidak melibatkan *fading*, *frequency selectivity*, *interference*.

### Jenis Modulasi

#### 1. BPSK

Modulasi BPSK merupakan jenis transmisi data *M-ary* dengan  $M = 2$ , yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). Pada BPSK satu simbol informasi direpresentasikan dengan satu bit.

#### 2. QPSK

Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data *M-ary* dengan  $M = 4$ , yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). Pada QPSK satu simbol informasi direpresentasikan dengan satu bit, yaitu 00, 01, 10 dan 11.

#### 3. 16-QAM

Modulasi 16-QAM merupakan modulasi QAM yang menggunakan inputan 4 bit dengan 16 kondisi logika.

#### 4. 64-QAM

64-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan  $M=64$  sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 6.

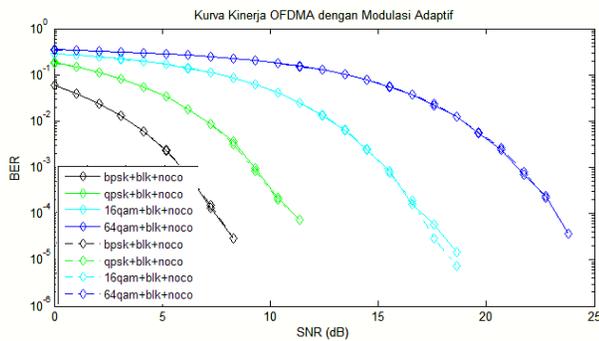
### III. PARAMETER SIMULASI

Simulasi sistem OFDMA pada tugas akhir ini menggunakan 1024 IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) yang perincinya sebagai berikut : 120 *pilot subcarrier*, 720 *data subcarrier*, dan 184 *null subcarrier* dengan modulasi *subcarrier* bervariasi yaitu : BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Dan variasi target BER  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$  serta penggunaan atau tidaknya skema pengkodean *convolutional code* (7,171 133) pada kanal AWGN (*additive white Gaussian noise*). Jumlah *user* dalam simulasi adalah empat.

### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### 4.1 Pengujian sistem modulasi OFDMA dengan variasi *subcarrier allocation*

Gambar 6 adalah hasil simulasi yang berupa kurva kinerja sistem OFDMA dengan variasi *subcarrier allocation* tipe *Block* dan *Interleaved* FDMA pada kanal AWGN.



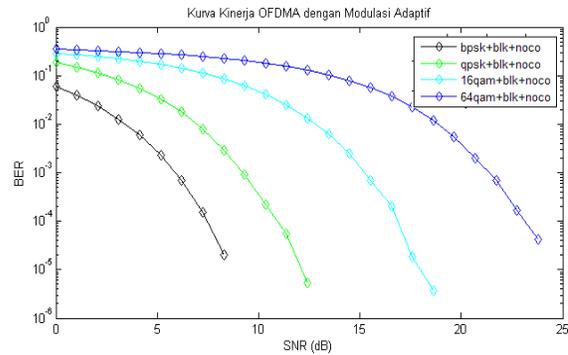
Gambar 6. Perbandingan kinerja sistem OFDMA *fix modulation* untuk *allocation subcarrier block* dan *interleaved*

Gambar 6 diatas memperlihatkan hasil simulasi sistem OFDMA dengan jumlah *user* 4 antara teknik alokasi *subcarrier Block* dan *Interleaved* pada level modulasi BPSK, QPSK, 16QAM dan 64QAM dari rentan SNR 0-30 dB. Penggunaan alokasi *subcarrier Block & Interleaved* FDMA pada kanal AWGN tidak begitu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara keduanya karena selisihnya sangat sedikit, sehingga pada simulasi selanjutnya tidak dibandingkan penggunaan variasi alokasi *subcarrier* terhadap modulasi adaptif

#### 4.2 Pengujian sistem modulasi adaptif OFDMA tanpa *channel coding*

Gambar 7 menampilkan hasil simulasi yang berupa kurva kinerja sistem OFDMA pada *block allocation subcarrier*

untuk *fix modulation* tanpa *channel coding* pada kanal transmisi AWGN.



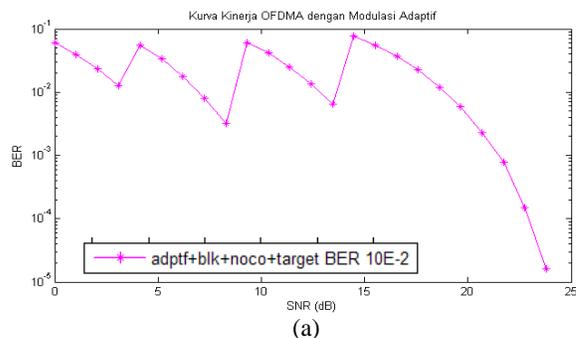
Gambar 7. Perbandingan kinerja sistem OFDMA *fix modulation* pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding*

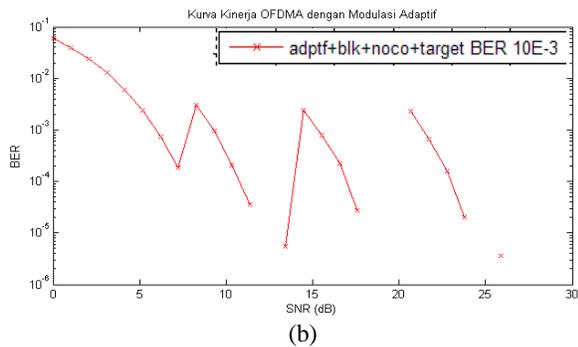
Gambar 7 diatas merupakan grafik perbandingan berbagai tipe modulasi pada kanal AWGN. QPSK membutuhkan SNR  $\pm 3$  dB, untuk mencapai BER  $10^{-2}$  sedangkan 16QAM dan 64QAM membutuhkan SNR berturut-turut  $\pm 8$  dB dan  $\pm 14$  dB untuk mencapai tingkat BER tersebut. Hasil simulasi dari Gambar 7 diatas dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan batas  $\hat{SNR}$  untuk modulasi adaptif. Berikut pada Tabel 4.3 menunjukkan level  $\hat{SNR}$  terhadap BER pada *threshold*  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ , untuk masing-masing modulasi BPSK, QPSK, 16QAM, dan 64QAM.

Tabel 1. Batas  $\hat{SNR}$  tiap modulasi tanpa coding untuk beberapa level BER

Modulasi	$\hat{SNR}$ (dB)	
	BER $10^{-2}$	BER $10^{-3}$
BPSK	$\hat{SNR} < 2$	$\hat{SNR} < 6$
QPSK	$2 \leq \hat{SNR} < 7$	$6 \leq \hat{SNR} < 12$
16QAM	$7 \leq \hat{SNR} < 13$	$12 \leq \hat{SNR} < 18$
64QAM	$\hat{SNR} \geq 13$	$\hat{SNR} \geq 18$

Gambar 8 dibawah ini menunjukkan perbandingan sistem modulasi adaptif untuk tiap-tiap level BER *threshold*. Untuk BER  $10^{-2}$  berarti setiap 100 *bit* data ada 1 *bit* data salah, sedangkan BER  $10^{-3}$  menunjukkan setiap 1000 *bit* data ada 1 *bit* data salah.



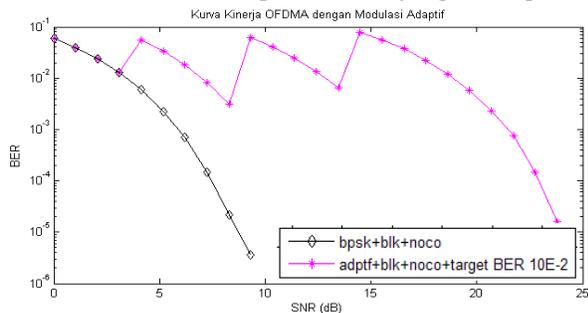


Gambar 8. Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding* (a) [BER  $10^{-2}$ ], (b) [BER  $10^{-3}$ ]

Terlihat bahwa sistem OFDMA dengan modulasi adaptif untuk *threshold* BER maksimum  $10^{-2}$ , pada  $\hat{SNR} > \pm 2$  dB sistem berpindah ke level modulasi QPSK, saat  $\hat{SNR} > \pm 7$  dB sistem berpindah ke level modulasi 16QAM, dan di  $\hat{SNR} > \pm 13$  dB sistem berpindah ke level modulasi 64QAM guna mengefisienkan pengiriman data. Untuk simulasi dengan *threshold* BER maksimum  $10^{-3}$ , modulasi BPSK menuju QPSK saat  $\hat{SNR} > \pm 6$  dB dan mengawali 16QAM di  $\hat{SNR} > \pm 12$  dB, kemudian 64QAM di  $\hat{SNR} > \pm 18$  dB.

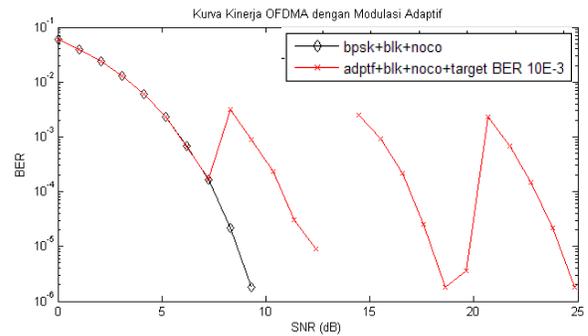
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi BPSK

Pada Gambar 9 Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-2$  dB, dan di SNR  $\pm 3$  dB berpindah ke QPSK karena pada nilai SNR tersebut, BER QPSK sudah mencapai *threshold* yang diharapkan.



Gambar 9. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi BPSK pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

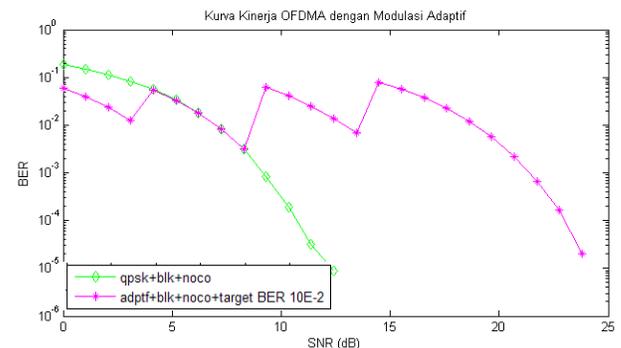
Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-6$  dB, dan di SNR  $\pm 7$  dB sistem modulasi adaptif berpindah ke QPSK karena pada nilai SNR tersebut, BER BPSK sudah mencapai *threshold*. Dalam penggunaan modulasi adaptif jelas terlihat memberikan *data rate* yang cukup signifikan baik, bila dibandingkan dengan modulasi BPSK.



Gambar 10. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi BPSK pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding* [BER  $10^{-3}$ ]

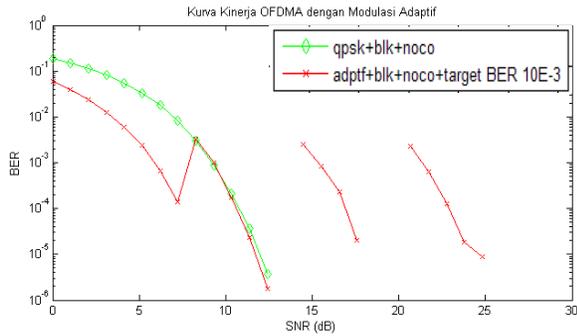
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi QPSK

Pada Gambar 11 Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan QPSK pada SNR  $\pm 3-7$  dB, karena QPSK sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR  $\pm 4$  dB, dan di SNR  $\pm 8$  dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 16QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 16QAM sudah mencapai *threshold*.



Gambar 11. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi QPSK pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

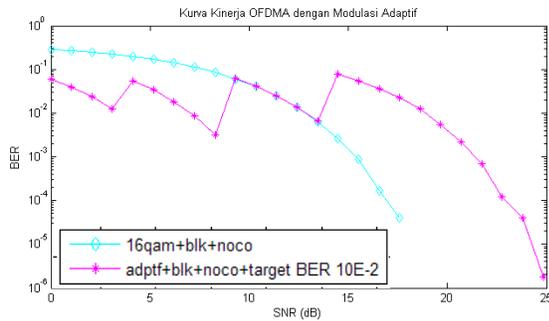
Gambar 12. menunjukkan sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan QPSK pada SNR  $\pm 7-12$  dB, karena QPSK sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 7$  dB, dan di SNR  $\pm 13$  dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 16QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 16QAM sudah mencapai *threshold*.



Gambar 12. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA Adaptive modulation dengan Modulasi QPSK pada block allocation subcarrier tanpa channel coding [BER  $10^{-3}$ ]

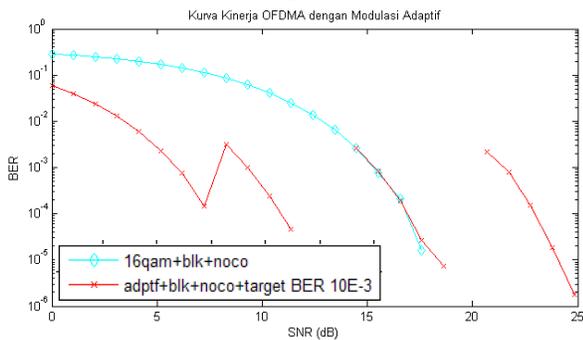
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi 16-QAM

Pada Gambar 13. Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-2$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 3-7$ dB dan menggunakan modulasi 16QAM pada range SNR  $\pm 8-12$ dB karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR  $\pm 8$ dB, dan di SNR  $\pm 13$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshold*.



Gambar 13. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA Adaptive modulation dengan Modulasi 16QAM pada block allocation subcarrier tanpa channel coding [BER  $10^{-2}$ ]

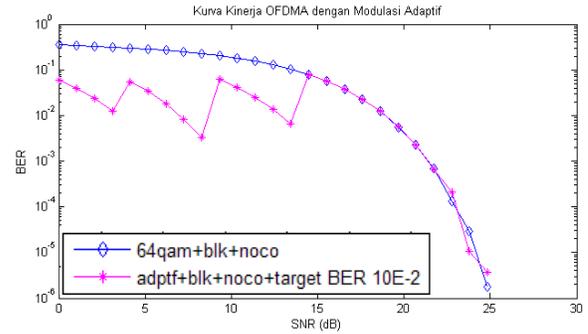
Gambar 14. Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-6$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 7-12$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 13-18$ dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 13$ dB, dan di SNR  $\pm 19$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshold*.



Gambar 14. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA Adaptive modulation dengan Modulasi 16QAM pada block allocation subcarrier tanpa channel coding [BER  $10^{-3}$ ]

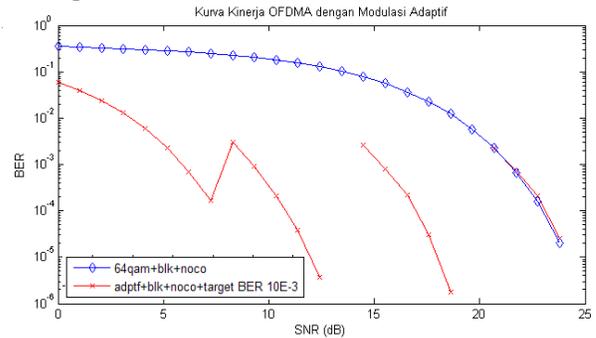
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi 64-QAM

Perbedaan kinerja modulasi tetap 64QAM dengan modulasi adaptif, terlihat pada Gambar 15 dan 16 untuk *threshold* BER  $10^{-2}$ , dan  $10^{-3}$ . Pada SNR 0 BER 64QAM  $3.50E-01$  sedangkan modulasi adaptif  $5.86E-02$ , hal ini terjadi karena di nilai SNR tersebut modulasi yang dipakai sistem modulasi adaptif adalah BPSK. Gambar 15 Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan 64QAM pada SNR  $\pm 13$ dB karena sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR tersebut.



Gambar 15. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA Adaptive modulation dengan Modulasi 64QAM pada block allocation subcarrier tanpa channel coding [BER  $10^{-2}$ ]

Pada Gambar 16 Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-6$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 7-12$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 13-18$ dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 13$ dB, dan di SNR  $\pm 19$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshold*.

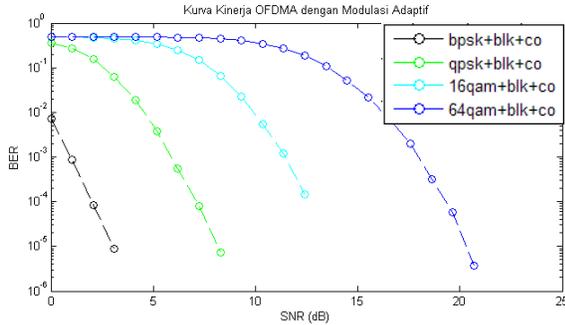


Gambar 16. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA Adaptive modulation dengan Modulasi 64QAM pada block allocation subcarrier tanpa channel coding [BER  $10^{-3}$ ]

### 4.3 Pengujian sistem modulasi adaptif OFDMA dengan channel coding

Pada pengujian ini dilakukan perbandingan penggunaan *channel coding* dalam modulasi adaptif sistem OFDMA. *Channel coding* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *convolutional coding* (7,177,133). *Rate* pengkodean yang dinyatakan sebagai  $R_c$  merupakan perbandingan antara *bit* informasi setelah dikodekan ( $n$ ) dan *bit* informasi asli ( $k$ ). Nilai  $R_c$  tergantung pada parameter pengkodean

yang digunakan, nilai  $R_c$  berbanding terbalik dengan *throughput* sistem, akan tetapi pada umumnya semakin tinggi  $R_c$  semakin baik *subsistem* FEC dalam memperbaiki kinerja sistem. Gambar 17. dibawah ini menunjukkan perbandingan antara penggunaan *convolutional coding* dengan *non-convolutional coding* pada masing- masing modulasi yang digunakan.



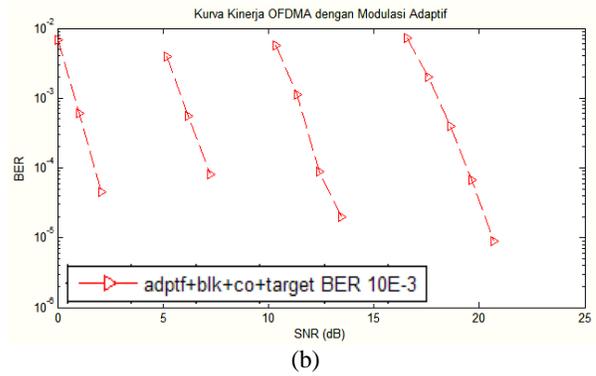
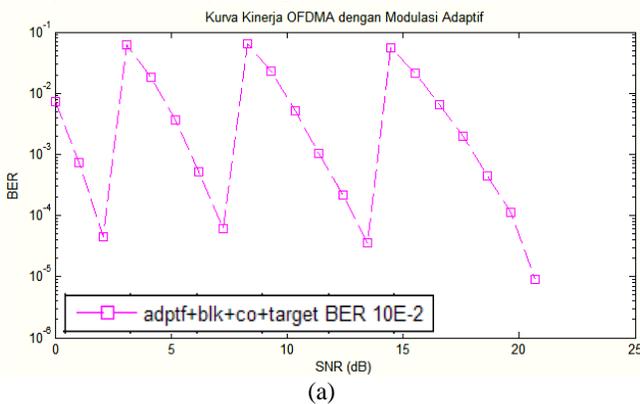
Gambar 17. Perbandingan BER dengan variasi modulasi yang menggunakan *convolutional coding*.

Dari Tabel 2. terlihat bahwa modulasi BPSK telah mencapai BER 0 pada SNR sekitar  $\pm 3$ dB sedangkan untuk berbagai modulasi yang lainnya seperti QPSK, 16QAM, dan 64QAM berturut-turut mencapai BER 0 pada SNR sekitar  $\pm 9, 13, 21$ dB. Hal ini menunjukkan kinerja *convolutional coding* cukup efektif dalam mengurangi efek derau yang terjadi pada kanal.

Tabel 2 Batas  $\hat{SNR}$  tiap modulasi dengan *convolutional coding* untuk BER  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ .

Modulasi	$\hat{SNR}$ (dB)	
	BER $10^{-2}$	BER $10^{-3}$
<b>BPSK</b>	$\hat{SNR} < 2$	$\hat{SNR} < 4$
<b>QPSK</b>	$2 \leq \hat{SNR} < 7$	$4 \leq \hat{SNR} < 9$
<b>16QAM</b>	$7 \leq \hat{SNR} < 13$	$9 \leq \hat{SNR} < 15$
<b>64QAM</b>	$\hat{SNR} \geq 13$	$\hat{SNR} \geq 15$

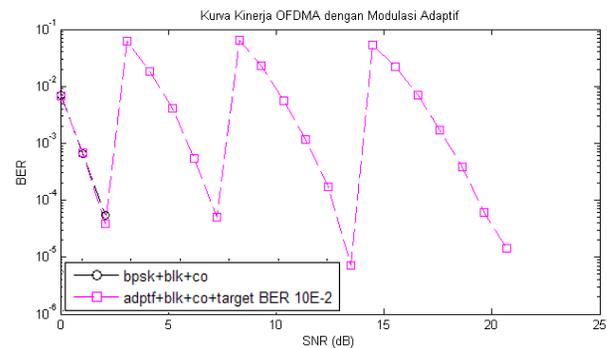
Gambar 18. dibawah ini menunjukkan hasil simulasi OFDMA dengan *convolutional coding* yang nilainya pada setiap  $\hat{SNR}$  ditampilkan pada Tabel 2 diatas.



Gambar 18. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi BPSK pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ] & [BER  $10^{-3}$ ]

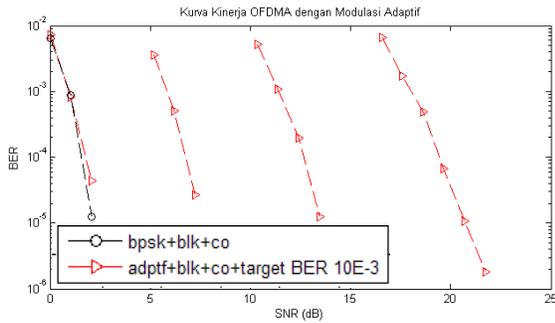
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi BPSK

Pada Gambar 19. Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-3$ dB, dan di SNR  $\pm 4$ dB berpindah ke QPSK karena pada nilai SNR tersebut, BER QPSK sudah mencapai *threshold* yang diharapkan.



Gambar 19. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi BPSK pada *block allocation subcarrier* tanpa *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

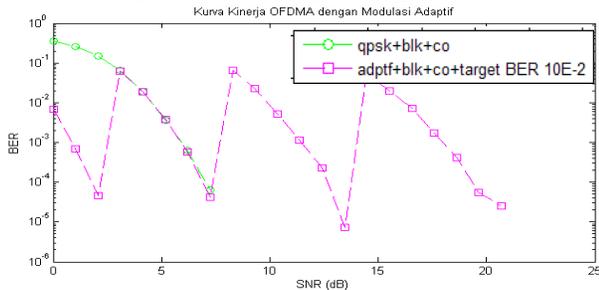
Pada Gambar 20 Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-4$ dB, dan di SNR  $\pm 5$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke QPSK karena pada nilai SNR tersebut, BER BPSK sudah mencapai *threshold*. Dalam penggunaan modulasi adaptif jelas terlihat memberikan *data rate* yang cukup signifikan baik, bila dibandingkan dengan modulasi BPSK. Pada modulasi adaptif tingkat BER yang diinginkan dapat diatur sesuai yang diinginkan, walaupun modulasi BPSK memiliki *data rate* terkecil, tetapi tingkat ketahanannya terhadap derau sangat tinggi bila dibanding dengan modulasi yang lain, sehingga dikatakan paling *robust*.



Gambar 20. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi BPSK pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-3}$ ]

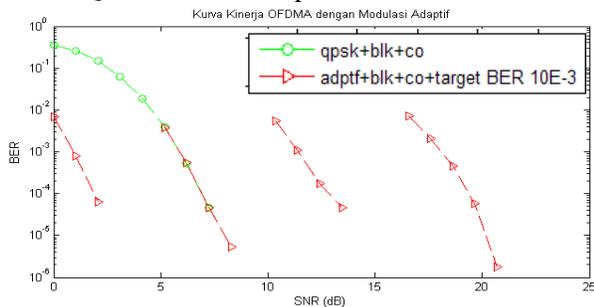
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi QPSK

Perbedaan kinerja modulasi tetap QPSK dengan modulasi adaptif, terlihat pada Gambar 21, dan 22 baik untuk *threshhold* BER  $10^{-2}$ , dan  $10^{-3}$ . Pada SNR 0 BER QPSK  $3.61E-01$  sedangkan modulasi adaptif  $6.69E-03$ , hal ini terjadi karena di nilai SNR tersebut modulasi yang dipakai sistem modulasi adaptif adalah BPSK. Pada Gambar 21 Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-2}$  menggunakan QPSK pada SNR  $\pm 3-7$ dB, karena QPSK sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR  $\pm 3$ dB, dan di SNR  $\pm 8$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 16QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 16QAM sudah mencapai *threshhold* yang diharapkan.



Gambar 21 Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi QPSK pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

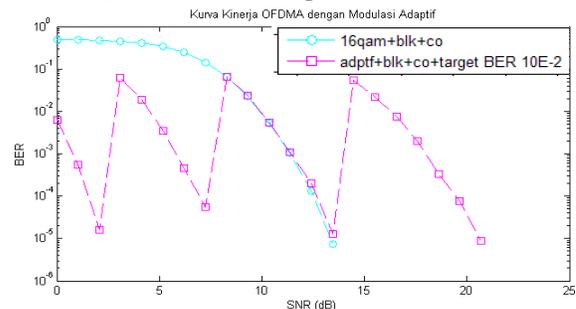
Gambar 22 menunjukkan sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-3}$  menggunakan QPSK pada SNR  $\pm 5-9$ dB, karena QPSK sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 5$ dB, dan di SNR  $\pm 10$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 16QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 16QAM sudah mencapai *threshhold*.



Gambar 22. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi QPSK pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-3}$ ]

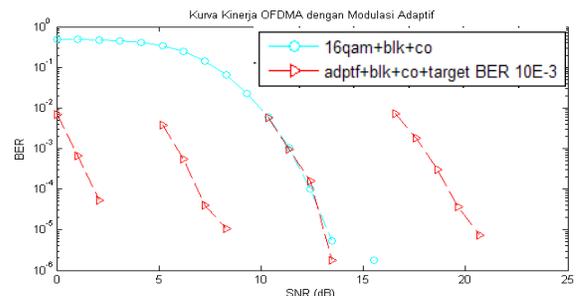
### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi 16QAM

Perbedaan kinerja modulasi tetap 16QAM dengan modulasi adaptif, terlihat pada Gambar 23, dan 24 untuk *threshhold* BER  $10^{-2}$ , dan  $10^{-3}$ . Pada SNR 0 BER 16QAM  $4.90E-01$  sedangkan modulasi adaptif  $6.69E-03$ , hal ini terjadi karena di nilai SNR tersebut modulasi yang dipakai sistem modulasi adaptif adalah BPSK. Pada Gambar 23 Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-2$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 3-7$ dB dan menggunakan modulasi 16QAM pada range SNR  $\pm 8-13$ dB karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR  $\pm 8$ dB, dan di SNR  $\pm 14$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshhold*.



Gambar 23. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi 16QAM pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

Gambar 24 Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-4$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 5-9$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 10-15$ dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 10$ dB, dan di SNR  $\pm 16$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshhold*.

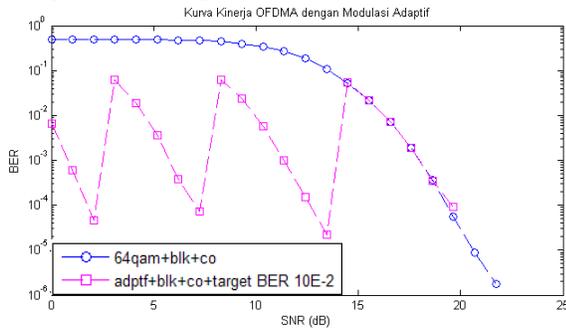


Gambar 24. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi 16QAM pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-3}$ ]

### Perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan modulasi 64QAM

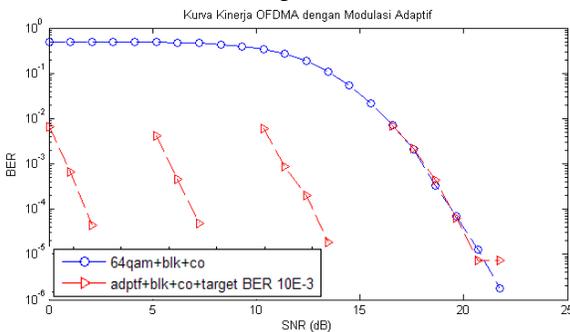
Perbedaan kinerja modulasi tetap 64QAM dengan modulasi adaptif, terlihat pada Gambar 25 dan 26 untuk *threshhold* BER  $10^{-2}$ , dan  $10^{-3}$ . Pada SNR 0 BER 64QAM  $3.50E-01$  sedangkan modulasi adaptif  $6.69E-03$ , hal ini terjadi karena di nilai SNR tersebut

modulasi yang dipakai sistem modulasi adaptif adalah BPSK. Gambar 25 Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-2}$  menggunakan 64QAM pada SNR  $\pm 14$ dB karena sudah mencapai BER  $10^{-2}$  pada nilai SNR tersebut.



Gambar 25. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi 64QAM pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-2}$ ]

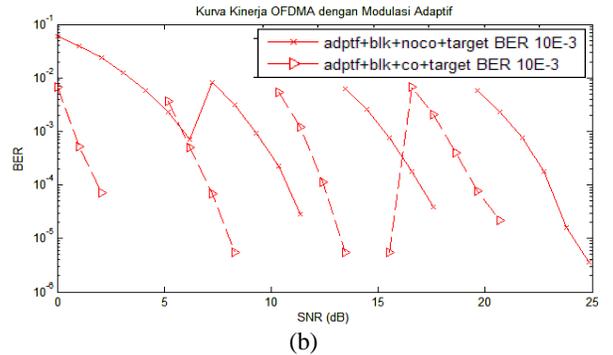
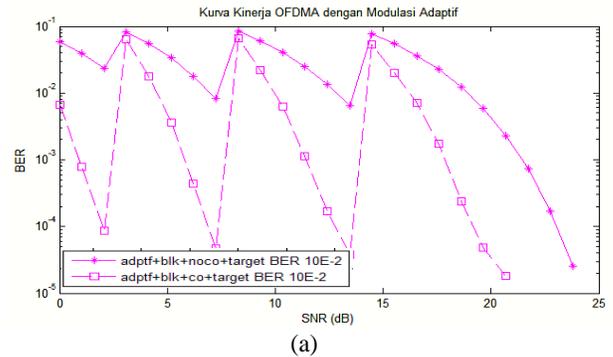
Pada Gambar 26 Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-4$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 5-9$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 10-15$  dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 10$ dB, dan di SNR  $\pm 16$  dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshhold*.



Gambar 26. Perbandingan Kinerja sistem OFDMA *Adaptive modulation* dengan Modulasi 64QAM pada *block allocation subcarrier* dengan *channel coding* [BER  $10^{-3}$ ]

#### 4.4 Perbandingan sistem modulasi adaptif OFDMA *non-channel coding* dan OFDMA *used channel coding*

BER sistem OFDMA yang menggunakan *convolutional coding* pada kanal AWGN menunjukkan kinerja yang cukup signifikan, selisih SNR untuk mendapatkan BER  $10^{-2}$  pada modulasi BPSK adalah  $\pm 0$ dB, sedangkan untuk modulasi QPSK  $\pm 3$ dB dan berurut-turut untuk modulasi 16QAM dan 64QAM adalah  $\pm 8$ dB &  $\pm 14$ dB. Gambar 27 memperlihatkan perbandingan simulasi Modulasi Adaptif OFDMA dengan *channel coding* dan *non-channel coding* pada kanal AWGN dengan target BER  $10^{-2}$  dan  $10^{-3}$ .



Gambar 27. Perbandingan simulasi *Adaptive Modulation* untuk *non-convolutional coding* dan *convolutional coding* pada sistem OFDMA (a) [BER  $10^{-2}$ ] & (b) [BER  $10^{-3}$ ]

Gambar 27. diatas dapat dilihat perbandingan kinerja modulasi adaptif dengan *channel coding* dan tanpa *channel coding*. Penggunaan *channel coding* menurunkan tingkat error data sehingga BER yang muncul seiring meningkatnya SNR akan terlihat penurunannya semakin linier. Tetapi perlu diingat bahwa penggunaan *channel coding* akan menurunkan *bit rate* sistem.

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi dan analisis permasalahan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Penggunaan alokasi *subcarrier Block* & *Interleaved FDMA* pada kanal AWGN tidak begitu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara keduanya karena selisihnya sangat sedikit.
2. Pada OFDMA tanpa *channel coding*, Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-2$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 3-7$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 8-13$ dB, dan 64QAM pada SNR  $> 14$  dB.
3. Pada OFDMA tanpa *channel coding*, Sistem adaptif dengan *threshhold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-6$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 7-12$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 13-18$ dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 13$ dB, dan di SNR  $\pm 19$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena

pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshold*.

4. Pada OFDMA tanpa *channel coding*, Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-2}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-2$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 3-7$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 8-13$ dB, dan 64QAM pada SNR  $>14$  dB.
5. Pada OFDMA tanpa *channel coding*, Sistem adaptif dengan *threshold*  $10^{-3}$  menggunakan BPSK pada SNR  $\pm 0-4$ dB, QPSK pada SNR  $\pm 4-9$ dB dan 16QAM pada SNR  $\pm 10-15$ dB, karena 16QAM sudah mencapai BER  $10^{-3}$  pada nilai SNR  $\pm 10$ dB, dan di SNR  $\pm 16$ dB sistem modulasi adaptif berpindah ke 64QAM karena pada nilai SNR tersebut, BER 64QAM sudah mencapai *threshold*.
6. Dengan sistem modulasi adaptif *data rate* akan meningkat, seiring dengan meningkatnya level modulasi.
7. Penggunaan *channel coding* memang menurunkan BER, tetapi kinerja sistem menjadi lebih lambat.

### Saran

1. Melengkapi simulasi sistem OFDMA pada tugas akhir dengan AMC (*Adaptive Modulation & Coding*).
2. Kanal wireless yang dipakai dapat diganti dengan kanal wireless SUI (*Stanford University Interim Model*), dan *Rayleigh fading*.
3. Mencoba dengan jenis *channel coding* lain seperti *Reed Solomon code*, *BCH code*, dan *Cyclic code*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sarif, Yofie H, *Analisis Pengaruh Derau Terhadap Laju Kesalahan Data pada Sistem OFDM*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Undip, 2004.
- [2]. ---, *Wireless multi-user OFDM systems*, [www.mobile.ecs.soton.ac.uk/comms/ofdm\\_system](http://www.mobile.ecs.soton.ac.uk/comms/ofdm_system). , Juni 2009.
- [3]. Faizin, M. Reza, Winarno, Yus Octavian, *Makalah Modulasi Jenis-Jenis dan Karakteristiknya*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2008.
- [4]. Lawrey, Eric, *Adaptive Techniques for Multiusers OFDM*, PDF files, Mei 2009.
- [5]. ---, *Quadrature Amplitude Modulation*, <http://DSPDesignLine/208801783-1.htm>, Maret 2009.
- [6]. Brooks, Alan C. dkk, *Design and Simulation of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Signaling*, PDF files, Mei 2001.
- [7]. Saragih, Joy Harisvan Tuah, *Analisis dan Simulasi Kinerja Alokasi Subcarrier pada Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*, Teknik Elektro ITB, 2007.

- [8]. J. Suryana, "Advanced Technique: Modulasi Adaptif pada WiMAX," Institut Teknologi Bandung, April 2006.
- [9]. Mustafid, *Statistika Elementer : metode dan aplikasi dengan spss*, UNDIP, 2003
- [10]. Harada, H., Prasad, R., *Simulation and Software radio*, Boston: Artech, 2008.

### BIODATA



Deni Ade Putra, lahir di Adirejo tanggal 17 Desember 1987. Menempuh pendidikan dasar di SDN 2 Pekalongan lulus tahun 1999 dan melanjutkan ke SLTP N 2 Pekalongan sampai tahun 2002, kemudian melanjutkan ke SMA N 1 Metro tahun 2005. Dari tahun 2005 sampai saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, konsentrasi Elektronika Dan Telekomunikasi.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Imam Santoso, ST, MT  
NIP. 19701203 199702 1 001

Dosen Pembimbing II

Ajub Ajulian Zahra, ST, MT  
NIP. 19710719 199802 2 001