

# Kajian Penggunaan Standar *Mobile Wimax* Untuk Sistem Komunikasi Taktis Militer

Dyah A. K.Harsono, Gamantyo Hendrantoro, Devy Kuswidiastuti.  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: gamantyo@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Sistem komunikasi taktis merupakan sistem komunikasi yang diterapkan di area yang luas dengan kriteria tertentu diantaranya mampu menjadi *Super Network* akibat banyaknya unit yang bergabung dalam sebuah operasi militer, menuntun transfer data yang relatif cepat, diperkuat dengan keamanan transmisi, serta memungkinkan diterapkan pada infrastruktur yang tidak tetap. Pada penelitian ini dilakukan pengkajian mengenai pemilihan teknologi *Mobile Wimax* sebagai teknologi komunikasi alternatif yang bisa diterapkan di daerah taktis. Pengkajian yang dilakukan menggunakan dua metode, yaitu dengan simulasi untuk menguji kemampuan *security* pada *Mobile Wimax* terhadap gangguan *jamming* dan studi pustaka mengenai kriteria yang harus dipenuhi dalam sistem komunikasi taktis seperti kemampuan *Mobile Wimax* menjadi *Super Network*, perbaikan rute apabila suatu saat terjadi pemblokiran rute pada proses pentransmisi informasi, dan mekanisme yang membolehkan apabila sebuah unit baru ingin bergabung dalam sebuah jaringan mesh yang sudah aktif sebelumnya. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) yang ada pada *Mobile Wimax* harus dimodifikasi dengan memberikan *convolutional coding* dan *interleaver* agar tahan terhadap gangguan *jamming*. Sedangkan pada hasil dari studi pustaka menunjukkan bahwa teknologi *Mobile Wimax* mampu memenuhi kriteria-kriteria yang telah ditetapkan.

**Kata Kunci**— *Anti Jamming Security, Mobile Wimax, OFDM, Sistem Komunikasi Taktis*

## I. PENDAHULUAN

KOMUNIKASI taktis atau komunikasi militer merupakan pendefinisian model peperangan masa depan, dalam sebuah paradigma *Network-Centric Warfare* (NCW). Telah disadari bahwa kekuatan dalam sebuah perang terletak pada kemampuan berbagi informasi dalam sebuah jaringan komunikasi [1]. Filosofi dalam sebuah operasi militer menempatkan informasi sebagai prioritas utama dalam medan perang yang menyediakan jaringan dimana-mana, kapanpun, dimanapun komunikasi akan dilakukan. Jaringan dari sistem komunikasi taktis berbeda dengan jaringan pada sistem komunikasi komersial terutama dalam hal keamanan. Kemampuan anti *jamming* sangat diperlukan, banyak fakta yang membenarkan jaringan untuk komunikasi taktis sangat ketinggalan secara teknologi dengan jaringan komersial. Permasalahan yang dihadapi sistem komunikasi taktis semakin kompleks dengan tidak adanya infrastruktur yang tetap[2].

Berbeda dengan sistem komunikasi komersial, komunikasi taktis harus memenuhi beberapa kriteria. Diantaranya dapat dilakukan melalui sarana komunikasi nirkabel, *node* (dalam

hal ini pengguna) dapat memainkan dua peran, yaitu sebagai *host* dan *router*. Pada jaringan taktis memungkinkan untuk menjadi *Super Network*. Disisi lain dalam sebuah jaringan, terlebih jaringan taktis dapat dipastikan akan banyak terjadi gangguan misal hilang atau dibloknya sebuah unit saat operasi militer berlangsung. Jadi sistem komunikasi harus memiliki kemampuan memperbaiki jaringan dengan cepat atau dalam istilahnya disebut *network recovery*, yang memungkinkan sebuah unit baru untuk bergabung dengan jaringan yang telah aktif sebelumnya dan hal yang paling penting dalam jaringan taktis membutuhkan tingkat keamanan yang tinggi atau *anti jamming security* [1].

Komunikasi taktis perlu memenuhi banyak kriteria sehingga sulit untuk diterapkan di Indonesia. Disisi lain, teknologi komunikasi nirkabel pada pita lebar seperti *Mobile Wimax* berpotensi untuk diterapkan dalam sistem komunikasi taktis. *Mobile Wimax* merupakan teknologi nirkabel pita lebar yang mendukung akses *portability* dan *mobility* [3]. Standar ini menggunakan *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access* (SOFDMA), sebagai teknik modulasi *multicarrier* dengan subkanalisasi. Selain itu, versi terbaru dari *Wimax* ini mempunyai *link margin* yang lebih baik, mendukung *mobility*, lebih fleksibel dalam mengatur spektrum sinyal, kemampuannya dalam melayani *subscriber* pada posisi LoS (*Line of Sight*) dan Non-LOS (NLoS), serta jangkauan yang lebih luas mencapai 50 km. Dari standar yang dimiliki oleh teknologi *Mobile Wimax* cukup menarik apabila teknologi ini dapat diterapkan untuk sistem komunikasi taktis militer sehingga perlu adanya pengujian kemampuan *Mobile Wimax* untuk memenuhi kriteria dari sistem komunikasi taktis.

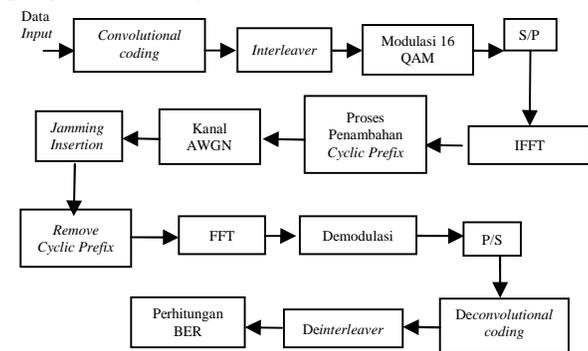
## II. PEMODELAN SIMULASI DAN PARAMETER KAJIAN

### A. Model Sistem

Pada pemodelan simulasi *anti jamming security* pada OFDM, bit informasi akan dibangkitkan secara acak sebanyak 163840 bit. Bit informasi tersebut dimodulasi menggunakan modulasi 16 QAM. Sebelum informasi masuk dalam proses modulasi dilakukan proses *coding* dengan *convolutional coding* dan *interleaver*. Ada beberapa parameter lain yang digunakan, seperti jumlah subcarrier  $N = 64$ , Panjang *cyclic prefix*  $L_{cp} = 16$  sehingga durasi simbol ( $T_s$ ) didapatkan pada (1)

$$T_s = (N + L_{cp})T \quad (1)$$

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa data informasi yang akan dikirim ke tujuan terlebih dahulu *dicoding* dengan teknik *convolutional coding*, Lalu dimasukkan dalam *interleaver* untuk menghindari terjadinya *burst error*. Kemudian deretan simbol tersebut diparalelkan dan dimodulasi dengan 16 QAM. Proses selanjutnya yaitu *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dan penambahan *Cyclic Prefix*. Selanjutnya data dilewatkan dalam kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Sebelum sampai ke *receiver*, data yang dikirimkan diberi gangguan berupa *singleton jamming* dan *multitone jamming*. Setelah masuk *receiver*, data yang telah terkena *jamming* tadi akan melalui proses penghilangan *Cyclic Prefix*, FFT, demodulasi 16 QAM, dan data bit yang diterima dalam bentuk paralel diubah menjadi seri. Selanjutnya akan dilakukan proses *decoding* dengan *deconvolutional coding* dan *deinterleaver* untuk mengetahui nilai *bit error ratio* (BER) terhadap data yang diterima karena pengaruh *jamming*.



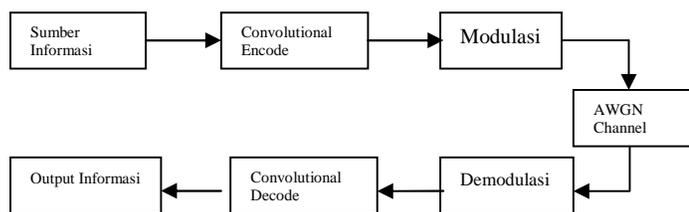
Gambar 1 Desain diagram Blok Anti Jamming Security pada Sistem OFDM

Blok *Convolutional coding* memiliki spesifikasi 3 parameter yaitu (n, k, dan m) dimana n adalah jumlah *output* bit, k merupakan jumlah *input* bit, dan m adalah jumlah dari register memori. Kuantitas k/n disebut sebagai *code rate* yang merupakan ukuran efisiensi dari sebuah kode. Pada umumnya, parameter k dan n memiliki range nilai dari 1 sampai 8, untuk parameter m memiliki range nilai 2 sampai 10 dan *code rate* dari 1/8 sampai 7/8 [5].

Penentuan *code* parameter n, k, dan m diperlukan dalam pembuatan chip dari *convolutional coding*. Nilai L disebut sebagai *constraint length* dan didefinisikan sebagai berikut :

$$L = \text{floor} \left( \frac{m + 1}{2} \right) \tag{2}$$

*Constraint Length*, L mewakili jumlah bit dalam memori *encoder* yang mempengaruhi hasil dari n *output* bit. Pada Gambar 2 terlihat penggunaan *coder* pada sebuah sistem transmisi informasi.



Gambar 2. Encoder decoder dan modulasi demodulasi dalam sebuah link komunikasi

Dengan teknik modulasi ini kita bisa menentukan bentuk konstelasi sesuai dengan jumlah sinyal penyusunnya. Gelombang QAM adalah kombinasi dari Phase Shift Keying (PSK) dengan Pulse Amplitudo Modulation (PAM). Fungsi dasar dari sinyal QAM memiliki kemiripan dengan sinyal PSK yaitu seperti berikut :

$$S_m(t) = \sum A_m e^{j\theta_m} g(t - mT) e^{j2\pi f_c t} = A_m g(t) [\cos(2\pi f_c t + \theta_m) + \sin(2\pi f_c t + \theta_m)]$$

Dengan:

$$A_m = (A_I^2 + A_Q^2)^{1/2}$$

$A_I$  dan  $A_Q$  = informasi yang dibawa sinyal pada masing-masing kanal yang berupa sinyal PAM

$g(t)$  = pulsa yang terbentuk dari sinyal yang dibangkitkan yaitu bisa berupa sinyal persegi atau segitiga

Parameter  $\theta_m$  memberi indikasi sebuah modulasi fase dan memiliki nilai :

$$\theta_m = \tan^{-1} \left( \frac{A_Q}{A_I} \right)$$

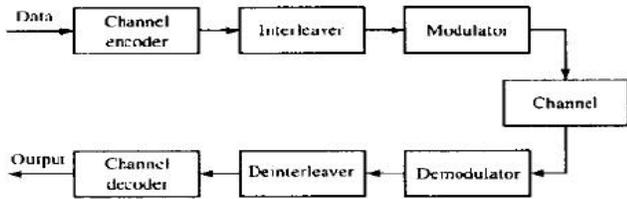
Dalam penentuan suatu konstelasi pada sinyal QAM dapat dipilih suatu kombinasi dari  $M_1$ -level PAM dan  $M_2$ -level PSK. Sehingga didapat konstelasi untuk sinyal QAM  $M = M_1 M_2$  level.

Setelah proses pembangkitan data, data akan dikodingkan dengan *convolutional coding*. Pemilihan sistem menggunakan *convolutional coding* lebih baik dibandingkan dengan tanpa menggunakan *convolutional coding*. Dalam teknik *convolutional coding* digunakan *code rate* 1/2, yang berarti tiap 1 bit yang masuk dikodekan menjadi 2 *output* bit. Nilai *constraint length* yang digunakan yaitu 7, serta generator polinomial yang dalam bilangan biner dinyatakan dalam [1011011] dan [1111001]. Apabila bilangan biner tersebut dinyatakan dalam bilangan *octal* menjadi 133 dan 171 [6].

Selain terjadi proses *coding* juga terjadi proses *decoding*. Fungsi dari proses *decoding* adalah untuk menentukan deretan bit *output* yang paling mirip dengan aliran bit *input* yang telah dikodekan oleh *encoder*. Proses *decoding equivalent* adalah membandingkan deretan bit yang diterima dengan deretan bit yang mungkin dikodekan dalam proses *encoder* dan memilih deretan bit yang paling dekat dengan deretan bit yang diterima. Jenis algoritma yang dipilih pada proses *deconvolutional decoder* adalah algoritma Viterbi dan teknik yang sering digunakan adalah *Trellis Code*. Algoritma Viterbi merupakan salah satu teknik *forward error correction* untuk *convolutional code*.

Blok *interleaver* menjelaskan bahwa *interleaver* merupakan teknik pengkodean yang berfungsi sebagai proteksi terhadap *error*. *Error* yang dimaksud dan biasa terjadi dalam pengiriman informasi data bit disebut *burst error*. *Burst error* merupakan pengrusakan atau penghilangan data secara besar yang melibatkan satu deret bit sekaligus. Dengan teknik *interleaver* data inputan berupa bit-bit akan diacak dengan cara dimasukkan atau dituliskan ke dalam suatu blok-blok secara horisontal, kemudian dikirimkan kembali dengan cara pembacaan secara vertikal sehingga diharapkan akan ada kenaikan kemampuan dalam perbaikan kesalahan [5]. Gambar

3 terlihat penggunaan interleaver pada sebuah sistem transmisi komunikasi



Gambar 3 Blok Diagram penggunaan interleaver untuk Burst Error Channel

Selanjutnya maksud dari blok *jamming insertion* adalah suatu *device* ataupun faktor eksternal yang menghasilkan suatu gelombang *jamming* tertentu. *Jamming* adalah suatu bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menghasilkan simbol-simbol kesalahan pada sisi penerima. Sistem *spread spectrum* sangat rentan terhadap hal tersebut, maka dilakukan sebuah kombinasi untuk mengatasinya, yaitu *convolutional coding* dan teknik *interleaver*.

Pada penelitian ini jenis sinyal *jamming* yang digunakan sebagai pengganggu sinyal OFDM adalah *singletone jamming* dan *multitone jamming*. Contoh dari *singletone jamming* adalah gelombang sinusoidal yang frekuensinya terletak dalam *bandwidth* sinyal yang akan di *jamming*. *Multitone jamming* ditempatkan pada frekuensi sejumlah N frekuensi.

Dalam *singletone jamming* diberikan gangguan terhadap salah satu *subcarrier* dengan amplitudo tertentu. Sedangkan pada *jamming multitone* diberikan gangguan terhadap beberapa *subcarrier* secara bersamaan dengan amplitudo yang sama. Gangguan sinyal *jamming* yang diberikan ada 2 bentuk sinyal yaitu berupa sinyal sinusoidal dan eksponensial. Sinyal sinusoidal dan eksponensial kompleks merupakan fungsi matematika yang berbentuk osilasi dan harus berulang seperti pada (3) dan (4) dimana A merupakan besar amplitudo yang dimiliki oleh sinyal *jamming*, ω merupakan frekuensi sudut.

$$y(t) = A \sin(\omega t) \tag{3}$$

$$y(t) = A e^{j\omega t} \tag{4}$$

B. Parameter Kajian

Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode simulasi dan metode studi literatur. Untuk parameter *security* menggunakan metode simulasi sedangkan untuk kriteria yang lain seperti *super network*, *network recovery*, dan *late network entry* dilakukan melalui studi literatur. Proses pengkajian ini dilakukan untuk mengetahui apakah teknologi dari *Mobile Wimax* mampu diterapkan untuk daerah taktis. Adapun penjelasan mengenai berbagai kriteria yang dimaksud adalah sebagai berikut [4]:

1) Security

Pada sistem komunikasi taktis dalam hal keamanan harus tahan terhadap *jamming*. Maka diharapkan sistem OFDM tahan terhadap gangguan *jamming*.

2) Super Network

*Simple Super Network* dalam komunikasi taktis adalah komunikasi yang terjadi antara 2 unit dalam sebuah jaringan. Apabila jaringan tersebut ingin berkomunikasi dengan

jaringan yang lain maka dibutuhkan *automatic relay* sebagai penguat pesan. *Mobile Wimax* diharapkan mampu memenuhi kebutuhan akan komunikasi taktis untuk menjadi *super network*.

3) Network Recovery

Didaerah taktis memungkinkan sebuah *user* hilang dalam suatu operasi atau pemblokkan jalur selama pengiriman informasi. *Mobile Wimax* diharapkan mampu memenuhi kebutuhan teknis dalam hal *routing update* jika salah satu unit ada yang hilang atau diblok.

4) Late Network Entry

Dalam komunikasi taktis, terkadang ada unit baru yang akan bergabung dalam jaringan yang sudah ada sehingga suatu mekanisme *join* diperlukan dalam taktis. Bagaimana mekanisme *join* yang digunakan dalam *Mobile Wimax* untuk kebutuhan *Late Network Entry*.

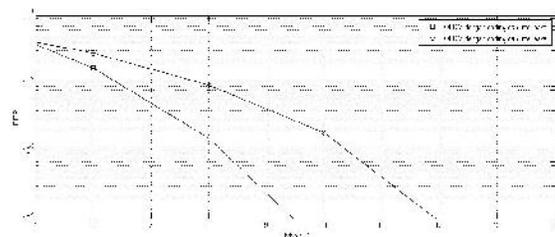
III. HASIL

A. Hasil Simulasi Anti Jamming Security pada OFDM

Untuk memenuhi kriteria *security* pada daerah taktis, dalam sistem OFDM disimulasikan beberapa kemungkinan terjadinya *jamming*. Pertama dilakukan perbandingan hasil BER pada OFDM dengan dan tanpa *coding* dan *interleaver*. Kedua dilakukan simulasi pada OFDM tanpa *coding* dan *interleaver*, namun diberi gangguan *singletone jamming* dan *multitone jamming*. Selanjutnya yang ketiga dilakukan simulasi pada OFDM dengan *coding* dan *interleaver* dengan gangguan *singletone jamming* yang berbentuk eksponensial kompleks atau sinusoidal. Kemudian yang keempat, mengubah variabel *jamming* dengan *multitone jamming* baik yang berbentuk sinusoidal ataupun eksponensial kompleks, masing-masing dari sinyal *jamming* tersebut dikenakan pada tiga *subcarrier* secara bersamaan. Selanjutnya yang kelima, adalah memberikan gangguan *multitone jamming* pada *subcarrier* yang sama dan yang terakhir memberikan gangguan pada sistem OFDM dengan *coding* dan *interleaver* berupa *multitone jamming* baik yang berbentuk sinyal sinusoidal dan eksponensial kompleks pada *subcarrier* yang berbeda-beda dengan jumlah yang lebih banyak yaitu sebanyak 6 *subcarrier*.

1) Perbandingan OFDM dengan Coding dan tanpa Coding

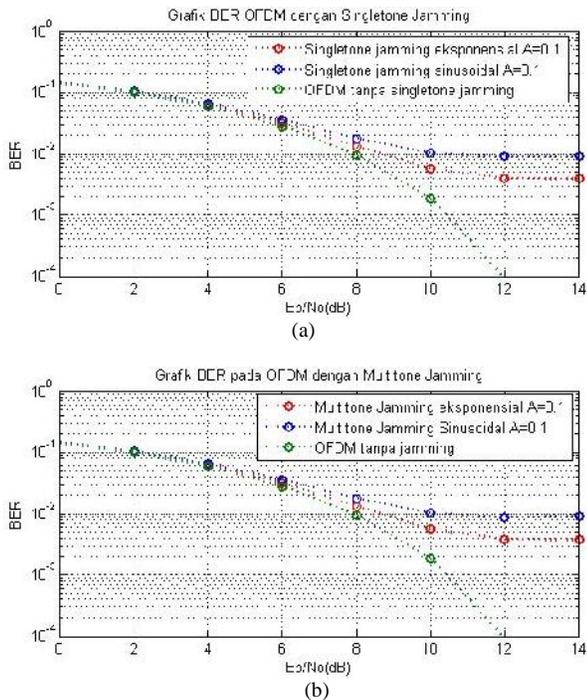
Hasil perbandingan OFDM dengan dan tanpa *coding* dan *interleaver* ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk mencapai nilai BER = 10<sup>-4</sup> sistem OFDM yang menggunakan *coding* dan *interleaver* membutuhkan nilai Eb/No yang lebih kecil yaitu 9,5 dB dibandingkan Eb/No yang dibutuhkan pada OFDM tanpa *coding* dan *interleaver* yaitu sebesar 12 dB. Untuk nilai Eb/No ada penurunan sebesar 2,5 dB pada sistem OFDM dengan *coding* dan *interleaver*.



Gambar 4 Perbandingan grafik BER OFDM dengan coding dan tanpa coding

2) OFDM tanpa Coding dan Interleaver dengan Gangguan Singletone Jamming dan Multitone Jamming

Gambar 5 merupakan hasil sistem OFDM tanpa coding dan interleaver yang diberikan gangguan jamming. Masing-masing dari jenis jamming tersebut berbentuk sinyal sinusoidal dan eksponensial kompleks kompleks yang memiliki amplitudo 0.1. Pada *singletone jamming* dikenakan pada *subcarrier* ke-16. Sedangkan pada *multitone jamming* dikenakan pada 3 *subcarrier* yang berbeda dan bersamaan.



Gambar 5. Perbandingan grafik BER OFDM tanpa coding dan interleaver diberi dan tidak diberi (a) *Singletone Jamming* (b) *Multitone Jamming*

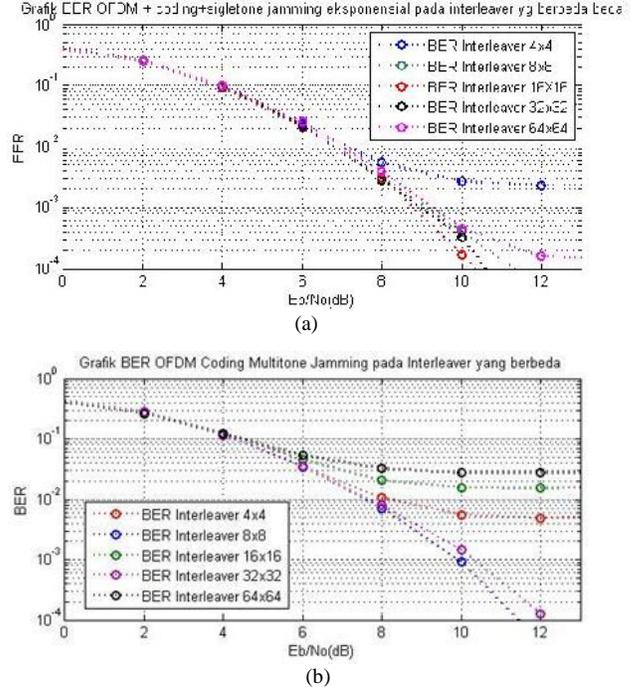
Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa OFDM yang tidak menggunakan coding dan interleaver apabila terkena jamming, sistem akan sangat mudah terganggu terlihat saat nilai  $E_b/N_0 = 13$  dB, BER = 0,0039. Nilai BER tersebut sudah pada kondisi stabil sehingga dengan nilai  $E_b/N_0$  berapapun tidak dapat menurunkan BER.

3) OFDM dengan Coding dan Interleaver diberi Gangguan Singletone Jamming (Eksponensial kompleks kompleks dan Sinusoidal)

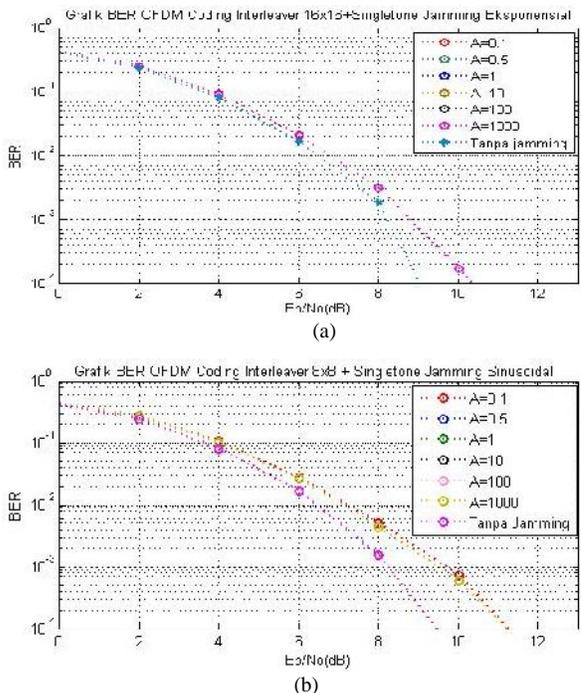
Gambar 7 menunjukkan hasil grafik BER yang didapatkan dari sistem OFDM yang menggunakan coding dan interleaver yang diganggu oleh *singletone jamming* yang berbentuk sinyal sinusoidal dan sinyal eksponensial kompleks.

Pada masing-masing gambar, jenis sinyal jamming dikenakan pada *subcarrier* ke-16. Namun sebelum jamming diberikan pada sistem, pemilihan matrik interleaver juga berpengaruh untuk besar BER yang akan dihasilkan nantinya sehingga dilakukan perkalian matrik interleaver untuk tiap jenis jamming yang akan dimasukkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6a perkalian matrik interleaver 16x16 menghasilkan nilai BER yang paling kecil dibandingkan perkalian matrik interleaver 4x4, 8x8, 32x32, 64x64. Sedangkan untuk jenis *singletone jamming* yang

berbentuk sinusoidal dan *multitone jamming* (Gambar 6b) penggunaan perkalian matrik interleaver 8x8 menghasilkan



Gambar 6. Penggunaan beragam perkalian matrik interleaver pada (a) *Singletone jamming* eksponensial kompleks 16x16 (b) *Singletone jamming* sinusoidal, *multitone jamming* 8x8



Gambar 7. Grafik BER OFDM dengan coding dan interleaver untuk *Singletone jamming* (a) Eksponensial kompleks (b) Sinusoidal.

BER yang lebih kecil dari pada perkalian matrik interleaver yang lain. Perkalian matrik interleaver 8x8 inilah yang akan digunakan untuk simulasi-simulasi selanjutnya.

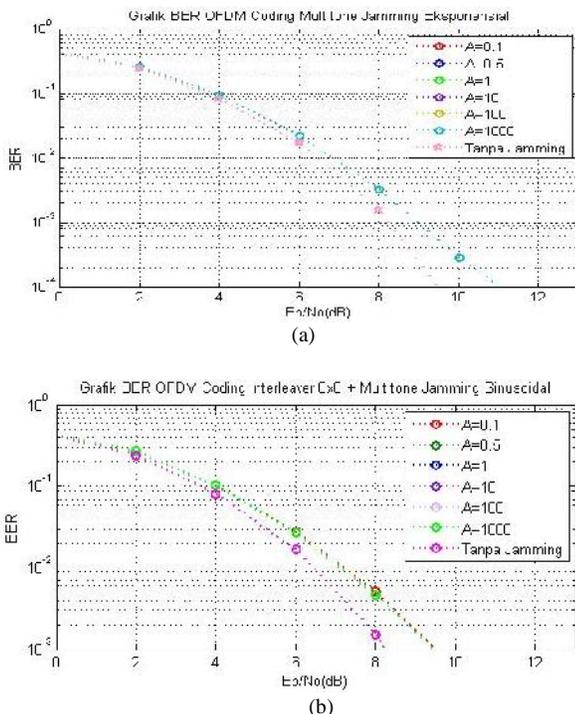
Selain pengaruh perkalian matrik interleaver. Perubahan untuk besarnya nilai amplitudo jamming juga dilakukan untuk mengetahui ketahanan sistem OFDM. Pada Gambar 7 nilai

amplitudo yang diberikan yaitu 0,1, 0,5, 1, 10, terlihat nilai BER yang dihasilkan untuk tiap nilai amplitudo besarnya sama. Oleh karena itu, diberikan nilai amplitudo sebesar 100 dan 1000, hasil menunjukkan bahwa nilai Eb/No yang dibutuhkan masih sama untuk mencapai BER = 10<sup>-4</sup>. Dari Gambar 7 menunjukkan pada sistem OFDM dengan coding dan interleaver untuk mencapai BER = 10<sup>-4</sup>, Eb/No < 12. Selisih Eb/No dengan sistem yang belum terkena jamming yaitu 1 sampai 2 dB.

4) OFDM dengan Coding dan Interleaver dengan Gangguan Multitone Jamming (Eksponensial kompleks dan Sinusoidal)

Hasil grafik BER yang didapatkan dari sistem OFDM yang menggunakan coding dan interleaver yang diganggu oleh multitone jamming yang berbentuk sinyal sinusoidal dan eksponensial kompleks ditunjukkan pada pada Gambar 8.

Masing-masing dari jenis sinyal jamming dikenakan pada 3 subcarrier yang berbeda secara bersamaan. Gambar 8a menunjukkan nilai Eb/No yang dibutuhkan kurang dari 12 dB untuk mencapai BER = 10<sup>-4</sup>. Nilai Eb/No tersebut tetap sama untuk tiap perubahan nilai amplitudo jamming yang diberikan. Selisih Eb/No dengan sistem OFDM dengan coding dan interleaver yang belum terkena jamming yaitu 1 sampai 2 dB. Sedangkan Gambar 8b menunjukkan nilai Eb/No < 12 untuk mencapai BER = 10<sup>-3</sup>. Nilai Eb/No tersebut tetap sama untuk tiap perubahan nilai amplitudo jamming yang diberikan

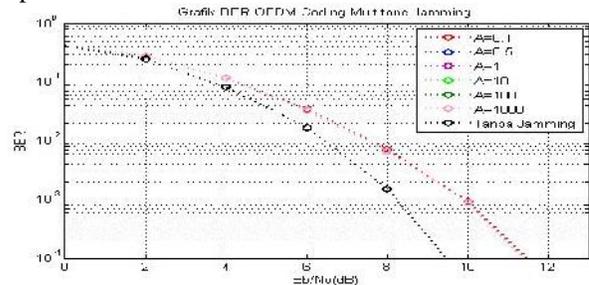


Gambar 8. Grafik BER OFDM dengan coding dan interleaver untuk Multitone jamming (a)Eksponensial kompleks (b) Sinusoidal

5) OFDM dengan Coding dan Interleaver dengan Gangguan Multitone Jamming pada Subcarrier yang sama

Maksud multitone jamming yang dikenakan pada subcarrier yang sama adalah dari tiap jenis jamming yang diberikan baik yang berupa sinyal sinusoidal maupun

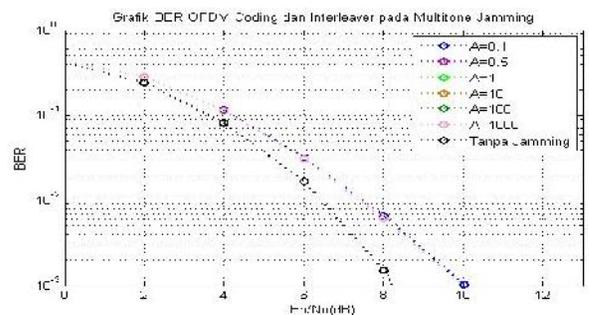
eksponensial kompleks dikenakan pada subcarrier yang sama. Hasil dari nilai BER ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil tersebut menunjukkan nilai Eb/No yang dibutuhkan kurang dari 12 dB untuk mencapai BER = 10<sup>-4</sup>. Nilai Eb/No tersebut tetap sama untuk tiap perubahan nilai amplitudo masing-masing jamming pada tiap sinyal jamming yang diberikan. Selisih Eb/No dengan sistem OFDM yang menggunakan coding dan interleaver namun belum terkena jamming yaitu 1 sampai 2 dB.



Gambar 9. Grafik BER OFDM dengan coding dan interleaver untuk Multitone jamming eksponensial kompleks dan sinusoidal pada subcarrier yang sama

6) OFDM dengan Coding dan Interleaver dengan gangguan Multitone Jamming pada Subcarrier yang berbeda

Maksud dari multitone jamming yang dikenakan pada subcarrier yang berbeda adalah pada tiap jenis sinyal jamming yaitu jamming berupa sinyal sinusoidal yang merupakan jamming satu dikenakan pada 3 subcarrier, sedangkan jamming kedua yang berupa sinyal eksponensial kompleks dikenakan pada 3 subcarrier yang berbeda pula. Jadi ada dua jamming yang mengenai 6 subcarrier. Hasil dari nilai BER yang didapat setelah sistem dimasuki jamming ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun subcarrier yang dikenai jamming lebih banyak dan amplitudo pada tiap jamming tersebut divariasikan ternyata sistem masih mampu menahan jamming tersebut dengan selisih nilai Eb/No 1 sampai 2 dB dengan sistem OFDM yang belum terkena jamming.



Gambar 10 Grafik BER OFDM dengan coding dan interleaver untuk Multitone jamming eksponensial kompleks dan sinusoidal pada subcarrier yang berbeda

B. Hasil Kajian Kriteria Melalui Studi Literatur

Pada bagian ini akan dijelaskan untuk kriteria taktis yang harus dipenuhi oleh Mobile Wimax yang hasilnya didapat melalui kegiatan studi literatur setelah pada kriteria security hasilnya didapat dari kegiatan simulasi. Semua kriteria tersebut dapat dipenuhi oleh Mobile Wimax dan hal tersebut akan diuraikan secara singkat di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengkajian Teknologi *Mobile Wimax* untuk Penerapan Sistem Komunikasi Taktis Militer

No.	Parameter Kajian	Komunikasi Taktis	<i>Mobile Wimax</i>
1	<i>Security</i>	Tahan Terhadap Jamming	Memiliki Ketahanan terhadap jamming
2	<i>Super Network</i>	Dalam komunikasi taktis membutuhkan jaringan yang besar yang mampu mengcover seluruh <i>user</i>	<i>Mobile Wimax</i> menerapkan topologi Mesh dalam jaringan, selain itu ada komponen <i>Mobile Wimax</i> yang bernama <i>relay station</i> yang [7].
3.	<i>Network Recovery</i>	Didaerah taktis memungkinkan sebuah <i>user</i> hilang dalam suatu operasi	tersedia kemampuan kemampuan <i>Interference Aware Selection Rute</i> dan metode bernama <i>Fast IP Network Recovery</i> [8].
4	<i>Network Entry</i>	Dalam komunikasi taktis, terkadang ada <i>user</i> baru yang akan bergabung dalam jaringan yang sudah ada, sehingga suatu mekanisme join diperlukan dalam taktis	Di dalam <i>Mobile Wimax</i> , terdapat mekanisme untuk bergabungnya sebuah unit baru yang ingin bergabung dengan jaringan Mesh yang telah aktif sebelumnya yang bernama <i>Network Entry Process</i> [9].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji simulasi dan studi pustaka, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan *codec* dan *interleaver* pada sistem OFDM mampu meningkatkan performansi OFDM untuk tahan terhadap gangguan *jamming*. Jenis *jamming* yang diberikan yaitu berupa *singletone jamming* dan *multitone jamming* yang berbentuk sinyal sinusoidal dan eksponensial kompleks. Pemilihan perkalian matrik *interleaver* pada sistem OFDM dapat mempengaruhi nilai BER yang dihasilkan. Pada sistem OFDM yang diberi gangguan *singletone jamming* yang berbentuk eksponensial kompleks menggunakan perkalian matrik *interleaver*  $16 \times 16$ , namun untuk jenis *jamming* yang lain yaitu *singletone jamming* dengan sinyal sinusoidal dan *multitone jamming* menggunakan perkalian matrik *interleaver*  $8 \times 8$ . Besar perubahan nilai amplitudo pada *jamming* 1 dan 2 yang mampu ditahan untuk sistem OFDM dengan *codec* dan *interleaver* ialah sampai 1000, sesuai dengan nilai amplitudo

maksimal yang digunakan dalam simulasi *anti jamming security*.

Pada hasil simulasi didapatkan nilai  $E_b/N_0 < 12$  dB untuk mencapai  $BER = 10^{-4}$ . Selain itu nilai  $E_b/N_0$  yang dibutuhkan hanya selisih 1 sampai 2 dB untuk mencapai nilai  $BER = 10^{-4}$ . Sedangkan pada hasil simulasi untuk *multitone jamming* yang berbentuk sinusoidal dan *multitone jamming* yang dikenakan pada *subcarrier* yang berbeda untuk mencapai nilai  $BER = 10^{-3}$  membutuhkan  $E_b/N_0 \leq 10$  dB.

Untuk hasil kajian potensi *Mobile Wimax* menjadi *Super Network*. *Mobile Wimax* mendukung untuk terwujudnya hal tersebut karena dalam *Mobile Wimax* terdapat komponen yang bernama *relay station* sebagai penguatan informasi. Dengan penggunaan topologi Mesh yang ada pada *Mobile Wimax* selain dapat meningkatkan jumlah *user* juga dapat melebarkan *coverage*. Hasil kajian terhadap kriteria *Network Recovery* yaitu pada *Mobile Wimax* ada fasilitas yang bernama *Interference Aware Route Selection*. Pada sistem komunikasi *wireless* juga ada metode untuk *Fast IP Network Recovery*. Dan yang terakhir hasil kajian kriteria *Late Network Entry*, dalam *Mobile Wimax* memiliki fasilitas yang disebut *Network Entry process*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui dana hibah Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian tahun 2012, yang berjudul "Studi Penerapan *Mobile Wimax* Pada Sistem Komunikasi Taktis Sebagai Pengembangan Teknologi Komunikasi Untuk Pertahanan Dan Keamanan Nasional".

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. L. Burbank, P. F. Chimento, B.K Haberman and W. T. Kasch, "Key Challenges of Military Tactical Networking and the Elusive Promise of MANET Technology", IEEE Communication Magazine, (2006, Nov.) 39-45.
- [2] G. F. Elmasry, "A Comparative Review of Commercial vs Tactical Wireless Network", IEEE Communication Magazine, (2010, Oct.) 54-59.
- [3] Wimax Forum Certified : *Mobile Wimax-Part I : A Technical Overview an Performance Evaluation*, (2006, Feb.).
- [4] "Link 22 Guide Book Overview", Northop Grumman Corp.( 2010, July).
- [5] A. Bateman, *Digital Communication Design For Real World*, Addison Westley Longman Limited (1999) Ch 8.
- [6] IEEE Standard : Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems—Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2–11 GHz, 2003.
- [7] J. L. Burbank and W. T. Kasch, "IEEE 802.16 Broadband Wireless Technology And Its Application To The Military Problem Space", IEEE MILCOM, (2005) 1-7.
- [8] M. Zangiabady and M. S. Mirzaei, "Novel Method For Fast IP Network Recovery", IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, (2012) 1-4.
- [9] Z. Yan, H. H. Chen, *Mobile Wimax Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks* (2008) Ch 7 and 8.