

Kajian Implementasi Standar *Long-Term Evolution* (LTE) pada Sistem Komunikasi Taktis Militer

Aris Pradana, Gamantyo Hendranto, dan 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, devy@ee.its.ac.id

Abstrak—Sistem komunikasi taktis, sebagai teknologi pendukung pada kemampuan militer, memungkinkan banyak pengguna dengan mobilitas tinggi, memiliki kemampuan *network recovery* dan *network entry* yang baik, serta diperkuat dengan sistem keamanan transmisi yang tahan terhadap *jamming*. Di sisi lain kemajuan telekomunikasi mendorong dikembangkannya LTE (*Long-Term Evolution*). LTE meningkatkan kapasitas sistem, cakupan area, *high peak data rates*, didukung dengan sistem keamanan yang baik guna mewujudkan pelayanan komunikasi menjadi lebih baik. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dan pengkajian penggunaan standar teknologi LTE agar mampu mendukung dan meningkatkan kualitas sistem komunikasi taktis militer. Simulasi dilakukan untuk menguji kemampuan LTE terhadap *jamming*. Dari hasil simulasi dan pengkajian didapatkan bahwa sistem *uplink* LTE, dengan penambahan *convolutional coding* dan *interleaver* 8×8, memiliki ketahanan terhadap *jamming* dengan amplitudo di bawah 2,5 V, lebih tahan terhadap *single-tone-jamming* daripada *multitone-jamming*, serta lebih tahan terhadap *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang berbeda daripada *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang sama. Arsitektur LTE dengan dukungan teknik AMC, AAA server, dan *fast cell selection* mampu mendukung sistem *super network*, *network entry*, dan *network recovery* pada sistem komunikasi taktis.

Kata Kunci—Antijamming, Komunikasi Taktis, LTE

I. PENDAHULUAN

KELANCARAN dari sebuah operasi militer sangat bergantung dengan sistem komunikasi yang terjadi di dalamnya. Namun beberapa permasalahan sering timbul dalam komunikasi taktis militer karena sistem ini harus memenuhi kriteria-kriteria tertentu. Sistem komunikasi taktis dituntut untuk mampu melayani mobilitas pengguna (dalam hal ini pasukan dan perangkat-perangkat lain dalam operasi), menyediakan kualitas kanal komunikasi yang baik, meminimalisasi koneksi yang terputus-putus, *bandwidth* yang relatif besar, tuntutan akan tingginya sistem keamanan informasi juga ketahanan terhadap gangguan, mampu menyediakan jaringan untuk pengguna yang tersebar sehingga butuh cakupan yang juga cukup lebar, hingga dapat mengatasi masalah keterbatasan daya [1]. Kriteria-kriteria tersebut menjadi tantangan tersendiri bagi pengembangan sistem komunikasi taktis di Indonesia.

Di lain pihak, teknologi komunikasi berkembang semakin pesat, tidak terkecuali komunikasi nirkabel bergerak pita lebar. Bahkan dunia telah mulai mengembangkan teknologi generasi

keempat (4G). Teknologi yang sudah ada seperti *Long-Term Evolution* (LTE) berpotensi untuk diterapkan sebagai sistem komunikasi taktis. LTE adalah sebuah layanan baru dalam sebuah teknologi komunikasi bergerak dan merupakan sistem terbaru yang diusulkan *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE meningkatkan kapasitas sistem, cakupan area, dan *high peak data rates*. LTE memiliki *throughput* yang tinggi dan *latency* yang rendah untuk meningkatkan pelayanan menjadi lebih baik [2]. Dari beberapa spesifikasi LTE tersebut perlu dikaji apakah mampu memenuhi kriteria-kriteria dari sistem komunikasi taktis dan mendukung pengembangan teknologi pertahanan.

II. METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini dibagi ke dalam dua bagian. Bagian pertama adalah kajian kemampuan *security* melalui simulasi ketahanan terhadap *jamming*. Sedangkan bagian kedua adalah kajian mengenai kemampuan jaringan LTE untuk memenuhi kriteria-kriteria sistem komunikasi taktis.

A. Simulasi Antijamming

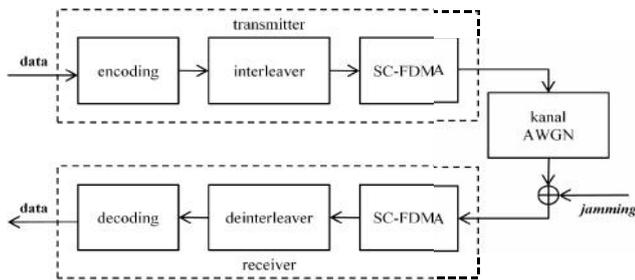
Simulasi *antijamming* ini dilakukan untuk menguji keamanan dan ketahanan sistem terhadap gangguan yang mungkin diberikan oleh pihak lawan. Simulasi *antijamming* dilakukan pada sistem *uplink* LTE, yang menerapkan teknik SC-FDMA. Dimana pada sistem SC-FDMA nanti akan diberikan penambahan sinyal *jamming* (baik *single-tone-jamming* maupun *multitone-jamming*) pada *sub-carrier* tertentu.

Single-tone-jamming merupakan sebuah sinyal *jamming* yang ditambahkan pada salah satu *sub-carrier* dengan amplitudo tertentu. Sedangkan *multitone-jamming* merupakan gabungan dua atau lebih sinyal *single-tone-jamming* yang diberikan pada *sub-carrier* yang sama ataupun pada *sub-carrier* yang berbeda.

Pada penelitian ini sinyal *jamming* yang diberikan berupa sinyal eksponensial kompleks seperti pada

$$jam = A \cdot e^{j2\pi \cdot Sc \cdot t} \quad (1)$$

dengan *jam* adalah sinyal *jamming* yang diberikan pada *sub-carrier* Sc-1 dengan amplitudo sinyal *jamming* sebesar *A*.



Gambar 1 Diagram Blok Simulasi Antijamming pada SC-FDMA

Tabel 1
Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah <i>input</i> data biner	16 384 bit
<i>Encoding</i>	<i>Convolutional code, rate 1/2, constraint length 7</i>
<i>Interleaver</i>	4x4, 8x8, 16x16, 32x32, 64x64
Modulasi	16 QAM
<i>Sub-Carrier</i>	64
<i>N-Point DFT</i>	4
<i>M-Point IFFT</i>	64
<i>Cyclic Prefix</i>	16
Kanal propagasi	AWGN

Sinyal informasi akan dikodekan terlebih dahulu melalui teknik *convolutional coding* dengan *rate 1/2* dan besarnya *constraint length* adalah 7. Kemudian dilakukan proses *interleaver* sebelum memasuki sistem SC-FDMA.

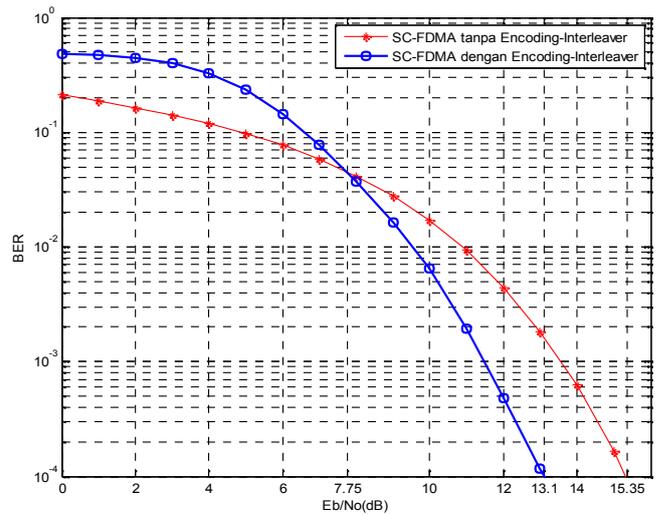
Sehingga dari proses tersebut didapatkan sinyal informasi pada *receiver* (S_R) seperti pada

$$S_R = S_T(t) + jam + n(t) \tag{2}$$

dengan $S_T(t)$ adalah sinyal yang dikirim dan mendapatkan *noise* $n(t)$ dari kanal komunikasi. Kanal yang digunakan adalah kanal AWGN. Keluaran dari simulasi ini berupa grafik nilai BER pada sinyal yang telah diterima untuk kemudian dianalisis. Secara umum diagram blok pemodelan sistem *antijamming* pada SC-FDMA dapat dilihat pada Gambar 1. Asumsi dan parameter yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Kajian Parameter Sistem Komunikasi Taktis

Bagian kedua dari penelitian ini adalah pelaksanaan kajian. Pengkajian dilakukan terhadap kriteria *super network*, mekanisme *late network entry*, dan *resilience* atau *network recovery*. Proses pengkajian ini dilakukan dengan studi literatur guna membandingkan dan menganalisis mengenai kemampuan-kemampuan yang dimiliki oleh LTE agar untuk dapat menangani permasalahan-permasalahan pada sistem komunikasi taktis.



Gambar 2 Grafik Perbandingan Nilai BER SC-FDMA Terhadap BER SC-FDMA dengan *Encoding* dan *Interleaver*

III. HASIL SIMULASI DAN KAJIAN

A. Analisis Kemampuan Security Melalui Simulasi Antijamming

Untuk menganalisis ketahanan sistem SC-FDMA terhadap *jamming* dilakukan melalui pengamatan grafik BER dari SC-FDMA tanpa *jamming* dan SC-FDMA setelah terkena *jamming*. Namun sebelumnya perlu diamati perbandingan performa SC-FDMA tanpa *encoding* dan *interleaver* dengan SC-FDMA yang telah dimodifikasi dengan penambahan *encoding* dan *interleaver*.

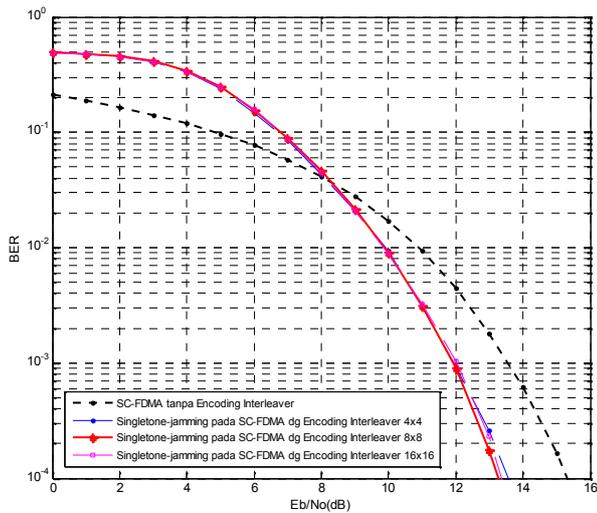
1) Penambahan Encoding dan Interleaver

Penambahan proses *encoding* dan *interleaver* diharapkan lebih meningkatkan performa dari SC-FDMA. *Interleaver* yang digunakan adalah *interleaver* dengan ukuran 16x16. Dari Gambar 2 dapat diketahui perbandingan grafik BER dari SC-FDMA tanpa *coding* dan *interleaver* terhadap grafik BER dari SC-FDMA yang telah ditambahkan proses *encoding* dan *interleaver*.

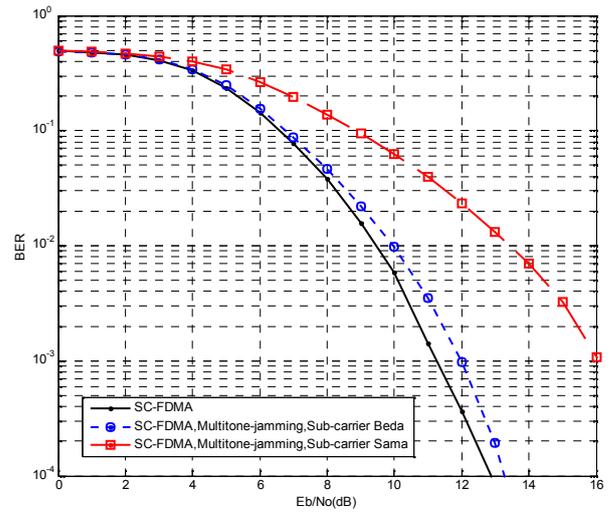
Dari Gambar 2 dapat diamati bahwa performa SC-FDMA dengan penambahan *encoding* dan *interleaver* meningkat 2,25 dB setelah E_b/N_0 lebih dari 7,75 dB, tepatnya saat nilai BER menunjukkan 10^{-4} . Sehingga diperlukan *encoding* dan *interleaver* agar performa SC-FDMA lebih baik.

2) Singletone-jamming

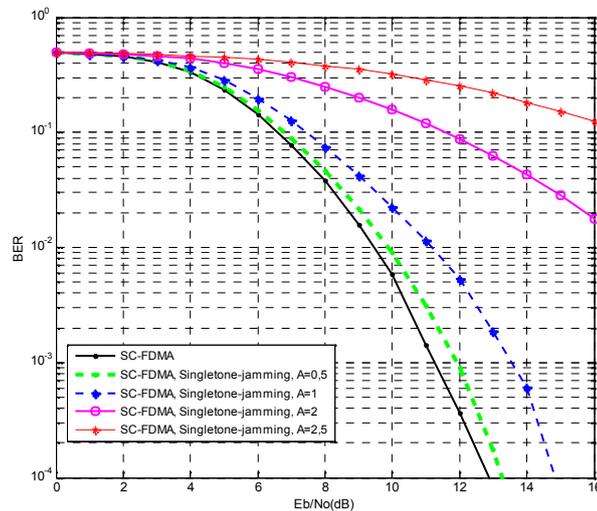
Pada tahap ini *jamming* diberikan pada *sub-carrier* kelima, dimana *sub-carrier* ini merupakan pembawa informasi. Namun sebelumnya, pada tahap awal dilakukan pengujian terhadap variasi ukuran *interleaver* pada saat *single-tone-jamming* diberikan pada SC-FDMA. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran *interleaver* yang tepat yang memiliki performa paling baik untuk dapat digunakan pada simulasi selanjutnya. Gambar 3 menunjukkan grafik performa BER dari simulasi ini.



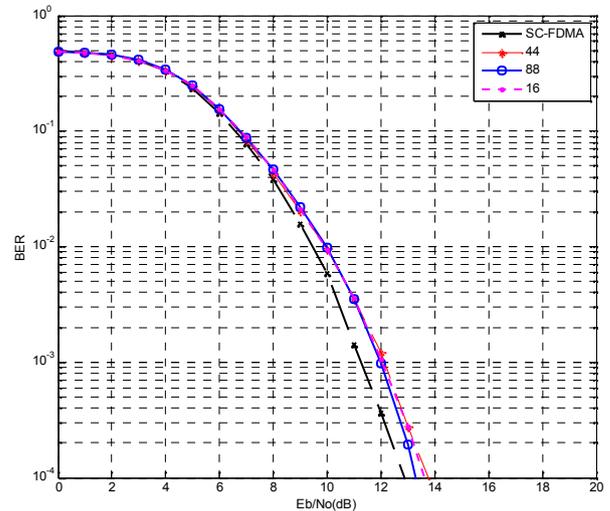
Gambar 3 Grafik Perbandingan Nilai BER pada SC-FDMA yang Telah Diberi Tambahan *Single-tone-jamming* dengan Variasi Ukuran *Interleaver*



Gambar 5 Grafik Perbandingan Nilai BER SC-FDMA yang Telah Dikenai *Multitone-jamming* pada *Sub-carrier* yang Sama dan *Sub-carrier* yang Berbeda



Gambar 4 Grafik Perbandingan Nilai BER SC-FDMA yang Telah Dikenai *Single-tone-jamming* dengan Nilai Amplitudo Sinyal Bervariasi



Gambar 6 Grafik Perbandingan Nilai BER pada SC-FDMA yang Telah Diberi Tambahan *Multitone-jamming* dengan Variasi *Interleaver*

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa ukuran *interleaver* cukup berpengaruh dalam performa BER SC-FDMA. Nilai BER untuk *interleaver* dengan ukuran 8x8 mencapai titik 10^{-4} terlebih dahulu daripada *interleaver* 4x4 dan 16x16. Sehingga untuk simulasi selanjutnya digunakan *interleaver* 8x8.

Untuk tahap selanjutnya dilakukan pengamatan *single-tone-jamming* dengan variasi nilai amplitudo untuk melihat ketahanan sistem *uplink* LTE terhadap *single-tone-jamming*. Pada simulasi tahap ini nilai amplitudo *jamming* yang digunakan bervariasi, yakni 0,5 V; 1 V; 2 V; dan 2,5 V. Grafik BER dapat dilihat pada Gambar 4.

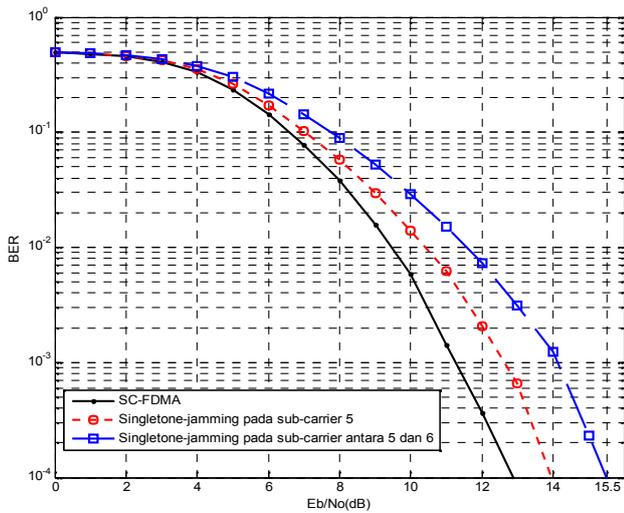
Dari Gambar 4 didapatkan bahwa pada SC-FDMA yang dikenai *single-tone-jamming* berupa sinyal eksponensial kompleks dengan amplitudo 0,5 V dan 1 V telah mencapai nilai BER 10^{-4} sebelum nilai Eb/No melewati 16 dB. Sementara itu, sinyal *jamming* dengan amplitudo 2 V dan 2,5 V belum mencapai nilai BER 10^{-4} meskipun sudah melewati nilai

Eb/No 16 dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa SC-FDMA memiliki ketahanan terhadap *single-tone-jamming* dengan amplitudo di bawah 2,5 V atau 0,94 kali dari amplitudo sinyal informasinya.

3) *Multitone-jamming*

Pada bagian ini dilakukan penambahan *multitone-jamming* pada SC-FDMA. *Multitone-jamming* yang diberikan adalah kombinasi dari dua sinyal eksponensial kompleks. Masing-masing sinyal memiliki nilai amplitudo yang sama. Pengamatan dilakukan terhadap pengaruh *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang sama dan pada *sub-carrier* yang berbeda. Hasil simulasi tahap ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari grafik didapatkan bahwa pada Eb/No 12 dB SC-FDMA yang telah diberi *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang berbeda telah menyentuh nilai BER 10^{-3} . Sedangkan SC-FDMA yang diberi *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang sama masih memiliki nilai BER $\pm 0,02$. Sehingga dapat



Gambar 7 Grafik Perbandingan Nilai BER dari SC-FDMA dengan Single-tone-jamming dan Multitone-jamming

dikatakan bahwa sistem *uplink* LTE, yang menggunakan teknik SC-FDMA, lebih tahan terhadap *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang berbeda daripada *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang sama.

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap variasi ukuran *interleaver* saat *multitone-jamming* diberikan pada SC-FDMA. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran *interleaver* yang memiliki performa terbaik untuk kasus *multitone-jamming*. Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan ukuran *interleaver* 4x4, 8x8, dan 16x16. Gambar 6 menunjukkan grafik performa BER dari simulasi ini.

Dari Gambar 6 didapatkan bahwa *interleaver* 8x8 memiliki performa yang paling baik saat diberikan *multitone-jamming*. Hal ini dapat dilihat dari grafik bahwa *interleaver* 8x8 mencapai nilai BER 10⁻⁴ terlebih dahulu jika dibandingkan dua ukuran *interleaver* yang lainnya, yakni 4x4 dan 16x16.

4) Perbandingan Performa SC-FDMA dengan Single-tone-jamming dan Multitone-jamming

Pada tahap ini dilakukan perbandingan performa SC-FDMA yang telah diberi *single-tone-jamming* dan *multitone-jamming*. Besar amplitudo sinyal *jamming* dari keduanya sama, yakni 0,5. Pada kedua kasus ini, *jamming* diberikan pada *sub-carrier* yang sama. Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan nilai BER dari SC-FDMA dengan *single-tone* dan *multitone-jamming*.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa terdapat selisih nilai EB/No sebesar 1,5 dB untuk mencapai nilai BER 10⁻⁴. Saat dikenai *single-tone-jamming* nilai BER tersebut didapat saat Eb/No 14 dB, sedangkan saat dikenai *multitone-jamming* membutuhkan nilai Eb/No 15,5 dB untuk mencapai nilai BER 10⁻⁴.

Dari hasil simulasi *antijamming* didapatkan bahwa sistem LTE, khususnya *uplink* yang menggunakan SC-FDMA, memiliki ketahanan terhadap *jamming* yang diberikan kepada *sub-carrier* pembawa informasinya. Namun performa SC-FDMA ini jauh lebih baik jika ditambahkan proses *encoding* (*convolutional coding*) dan *interleaver* dengan ukuran 8x8.

Tabel 2 Perbandingan Parameter dan Hasil Kajian

Parameter	Komunikasi Taktis	LTE
Security	Memiliki ketahanan terhadap <i>jamming</i> .	Dengan penambahan <i>convolutional coding</i> dan <i>interleaver</i> 8x8, sistem <i>uplink</i> LTE memiliki ketahanan terhadap <i>jamming</i> dengan amplitudo dibawah 2,5 V. Sistem ini lebih tahan terhadap <i>single-tone-jamming</i> daripada <i>multitone-jamming</i> , serta lebih tahan terhadap <i>multitone-jamming</i> pada <i>sub-carrier</i> yang sama daripada <i>sub-carrier</i> yang berbeda.
Super network	Dapat digunakan pada sistem jaringan yang kompleks dengan 8 <i>network</i> besar yang memiliki total pengguna 125 <i>node</i> melalui sistem <i>cyclic TDMA</i> [8].	Mampu melayani pengguna dan jaringan hingga 200 <i>user</i> dalam satu sel. Dibekali AMC dan <i>dynamic scheduling</i> untuk menjaga kualitas transmisi.
Mekanisme late network entry	Memiliki kemampuan untuk mengakomodasi pengguna baru untuk bergabung dalam jaringan [8].	Mekanisme <i>network entry</i> didukung oleh MME dengan bantuan server AAA dan protokol AKA.
Network recovery (Resilience)	Membutuhkan kemampuan <i>network recovery</i> dan ketahanan jika terjadi kerusakan pada salah satu <i>link</i> .	Didukung teknik <i>fast cell selection</i> untuk mengarahkan pengguna pada eNB dengan kualitas yang lebih baik.

Untuk kasus *single-tone-jamming*, SC-FDMA milik LTE ini lebih tahan terhadap *jamming* yang berupa sinyal eksponensial kompleks pada amplitudo sinyal di bawah 2,5 V atau 0,94 kali dari amplitudo sinyal informasinya. Hal ini berbeda dengan sistem *downlink* LTE yang menggunakan sistem OFDM. OFDM memiliki ketahanan terhadap *jamming* dengan amplitudo hingga 1000 V [3]. Sementara untuk kasus *multitone-jamming*, SC-FDMA lebih tahan terhadap *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang berbeda daripada *multitone-jamming* pada *sub-carrier* yang sama. Sistem *uplink* LTE ini juga lebih tahan terhadap *single-tone-jamming* daripada *multitone-jamming*.

B. Analisis Kajian Kemampuan Super Network, Network Entry, dan Network Recovery

Dari sisi *super network*, LTE memiliki kapasitas sel mencapai 200 pengguna [4]. LTE memiliki lapisan fisik yang dapat beroperasi terus-menerus untuk *downlink*, dengan

diselingi sinkronisasi, dan menyediakan berbagai saluran secara simultan dengan berbagai modulasi [5]. LTE juga dilengkapi fitur *dynamic scheduling (semi-persistent scheduling)* yang dapat mengatur alokasi *bandwidth* yang dibutuhkan dalam setiap transmisi, serta teknik *Adaptive Modulation Coding (AMC)* untuk mengatasi permasalahan komunikasi dalam berbagai kondisi kanal.

Dari sisi *network entry*, *Evolved Packet Core (EPC)* pada LTE, yang dibekali sistem *Mobility Management Entity (MME)* pada *interface* radionya, mampu menyediakan kemampuan autentikasi dan identifikasi yang baik dengan bantuan server AAA dan protokol AKA [5][6][7]. Sehingga setiap pengguna yang ingin masuk ke dalam sebuah jaringan akan diproses dengan cepat dengan kolaborasi beberapa teknik yang ada pada *core network* dan RAN pada LTE.

Dari sisi *network recovery*, LTE memiliki sistem HARQ dan *handover management* yang baik dengan bantuan *fast cell selection* [7], sehingga jika terjadi kerusakan pada suatu *node*, maka setiap pengguna masih dapat melakukan komunikasi tanpa merusak jaringan besar, dengan langsung mencari eNB mana yang masih aktif. Tabel 2 memaparkan perbandingan parameter dan hasil kajian.

IV. KESIMPULAN

Sistem komunikasi taktis militer harus memiliki keamanan yang baik dan tahan terhadap *jamming*, mampu digunakan dalam sistem jaringan yang kompleks (*super network*), memiliki mekanisme *network entry* yang baik, dan memiliki kemampuan *network recovery* atau ketahanan yang baik (*resilience*) ketika terjadi gangguan pada *link* komunikasi dalam sebuah operasi.

Performa sistem *uplink* pada LTE, yakni SC-FDMA, lebih baik jika diberikan penambahan proses *convolutional code* dan *interleaver*. Saat penambahan *single-tone* dan *multitone-jamming*, *interleaver 8x8* pada SC-FDMA memiliki performa yang lebih baik daripada *interleaver* dengan ukuran 4x4 dan 16x16. Sistem *uplink* LTE ini memiliki ketahanan terhadap *single-tone-jamming* berupa sinyal eksponensial kompleks dengan amplitudo sinyal di bawah 2,5 V atau 0,94 kali sinyal informasinya. Saat diberikan *multitone-jamming*, SC-FDMA lebih tahan terhadap *multitone-jamming* yang diberikan pada *sub-carrier* yang berbeda daripada *multitone-jamming* yang diberikan pada *sub-carrier* yang sama. Pada amplitudo sinyal *jamming* yang sama besar, SC-FDMA lebih tahan terhadap *single-tone-jamming* daripada *multitone-jamming*.

Sistem LTE mampu memenuhi kriteria *networking yang baik* pada sistem komunikasi taktis karena memiliki sistem yang dapat mengakomodasi *super network* dengan penggunaan komunikasi *full duplex*, *dynamic scheduling*, dan AMC.

LTE memiliki mekanisme *network entry* dengan dibekali sistem MME pada *interface* radionya, sehingga mampu menyediakan kemampuan autentikasi dan identifikasi yang baik dengan didukung server AKA dan protokol AAA.

LTE memiliki kemampuan *network recovery* yang baik dengan adanya sistem *fast cell selection*, sehingga jika terjadi kerusakan pada suatu *node*, setiap pengguna masih dapat melakukan komunikasi tanpa merusak jaringan besar, dengan langsung mencari eNB mana yang masih aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian tahun 2012 yang berjudul “Kajian Implementasi *Long-Term Evolution (LTE)* pada Sistem Komunikasi Taktis Guna Mendukung Teknologi 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 Communications Magazine, pp. 39-45, November (2006).
- [2] ----, "LTE Release 8 Key Features", <URL: <http://www.3GPP.org/>>, September 2011
- [3] D. A. K. Harsono, "Kajian Penggunaan Standar Mobile WiMAX untuk Sistem Komunikasi Taktis Militer", Tugas Akhir, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, (2012).
- [4] T. Bhandare, "LTE and WiMAX Comparison", Santa Clara University, Desember (2008).
- [5] T. Ali-Yahiya, "Understanding LTE and its Performance", Springer, New York, (2011).
- [6] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband", Academic Press, Burlington, 2011.
- [7] ----, "Long Term Evolution Protocol Overview", White Paper, Freescale Semiconductor Inc, (2008).
- [8] N. Grumman, "Link 22 Guidebook Overview", Space & Mission Systems Corp. Network Communications Division, San Diego, (2010).