

PERFORMANSI *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)* PADA KANAL *UPLINK LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

SKRIPSI

KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ATIKAH SAYIDAH ZUHRO

NIM. 0610633015 – 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2011

LEMBAR PERSETUJUAN

PERFORMANSI *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)* PADA KANAL *UPLINK LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

SKRIPSI

KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ATIKAH SAYIDAH ZUHRO

NIM. 0610633015 – 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing:

Ali Mustofa, ST., MT.
NIP. 19710601 200003 1 001

Rusmi Ambarwati, ST., MT.
NIP. 19720204 200003 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

PERFORMANSI *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)* PADA KANAL *UPLINK LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

Disusun oleh :

ATIKAH SAYIDAH ZUHRO

NIM. 0610633015 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 21 Oktober 2011

Majelis Penguji :

Ir. Wahyu Adi Priyono, MT.

NIP. 19600518 198802 1 001

Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng.

NIP. 19700310 199412 1 001

Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.

NIP. 19621116 198903 2 002

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.

NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* Pada Kanal *Uplink Long Term Evolution (LTE)*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Mama Ir. Mas Ulifah Ridwan, Mama Nartin Widhayanti, Papa Ir. Supriyanto, MM., dan Adikku Haekal Iqbal terimakasih atas doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada henti sampai saat ini.
2. Suamiku tercinta Fendi Ariyanto, ST., dan anakku tersayang Raqilla Dika Ariyanto, terimakasih untuk kasih sayang serta dorongan terbesar sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT., selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
4. Ibu Rusmi Ambarwati, ST., MT., selaku dosen pembimbing skripsi sekaligus dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, pengarahan serta bimbingan akademik.
5. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
7. Sahabat-sahabat terbaikku, Pradini Puspitaningayu, ST., Herrah Astobroto Mangkuwigati, ST., Novita Ika Darliyanti, ST., serta keluarga besar Angkatan 2006 (Ge-Force) terima kasih atas persahabatan, semangat, motivasi dan untuk segalanya.
8. Teman-teman Kos Andong Barat Kav.21, Primasta Wendhasari, Fitria Poernomo, Rachmaniah (Mbak Nia) dan lainnya terimakasih untuk kegembiraan dan keceriaannya.
9. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi '05, '06, dan '07 terimakasih telah berbagi ilmu dan pengetahuan selama di Lab.

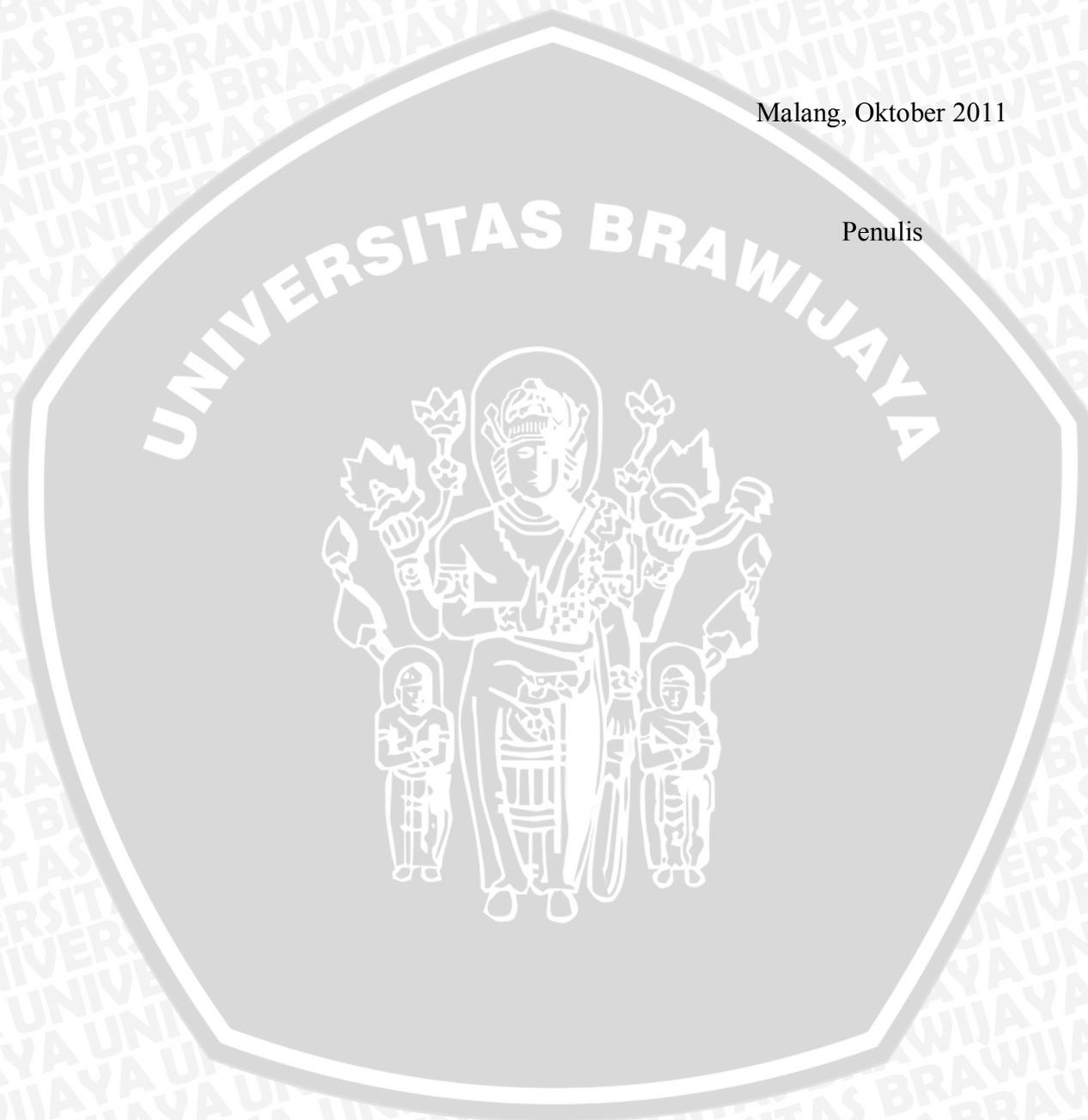


10. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Oktober 2011

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sekilas Perkembangan Sistem Komunikasi Seluler	5
2.2 <i>Long Term Evolution</i> (LTE)	7
2.2.1 <i>Teknologi Long Term Evolution</i> (LTE)	8
2.2.1.1 <i>Teknologi Multicarrier</i>	8
2.2.1.2 <i>Teknologi Multiple Antenna</i>	9
2.2.1.3 <i>Aplikasi Packet Swithed Radio Interface</i>	10
2.2.3 <i>Arsitektur Jaringan Long Term Evolution</i> (LTE)	10
2.2.3 <i>Protokol Stack LTE</i>	12
2.3. <i>Single Carrier Frekuensi Division Multiple Access</i> (SC-FDMA)	15
2.3.1 <i>Sigle Access dan Multiple Access</i>	15
2.3.2 <i>Prinsip Dasar Single Carrier-FDMA</i> (SC-FDMA)	16
2.3.3. <i>Guard Interval dan Cyclic Prefix</i> (CP)	18
2.4 <i>Desain Physical Layer pada Kanal Uplink Long Term Evolution</i> (LTE)	19
2.4.1 <i>Teknik Modulasi</i>	19
2.4.1.1 <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK)	20



2.4.1.2	<i>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</i>	21
2.4.2	Modulasi Adaptif	22
2.4.3	Transmisi Data pada Kanal <i>Uplink</i>	23
2.4.4	<i>Resource Block</i>	25
2.5	SC-FDMA <i>Signal Processing</i>	27
2.5.1	Konversi <i>Serial to Paralel (S/P)</i>	28
2.5.2	<i>Digital Fourier Transform (DFT)</i> dan <i>Invers Digital Fourier Transform (IDFT)</i>	29
2.5.3	<i>Subcarrier Mapping</i>	30
2.5.4	<i>Cyclic Prefix (CP)</i>	31
2.6	Kanal Propagasi	31
2.6.1	Fisik pada Radio Transmisi	31
2.6.2	Efek Adanya Sinyal Lain pada Penerima Antena	32
2.6.3	Peralatan <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i>	33
2.7	Kanal AWGN	34
2.8	Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	35
2.9	Model Propagasi	35
2.9.1	Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i>	36
2.9.2	Karakteristik Model Propagasi Okumura-Hatta	36
2.10	Performansi Sistem SC-FDMA	38
2.10.1	<i>Peak Bit Rate</i>	38
2.10.2	Rugi-Rugi Propagasi <i>Non-Line of Sight (NLOS)</i>	38
2.10.3	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	40
2.10.4	Kapasitas Kanal Sistem	41
2.10.5	<i>Energy Bit-to-Noise Ratio</i>	42
2.10.6	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	42
2.10.7	<i>Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)</i>	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		46
3.1	Studi Literatur	46
3.1	Pengambilan Data	46
3.3	Perhitungan dan Analisis Data	47
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	52



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Umum.....	53
4.2 Analisis Performansi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE).....	53
4.2.1 Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem pada Kanal <i>Uplink Long Term Evolution</i> (LTE) dengan penerapan SC-FDMA.....	56
4.2.2 Analisis Signal-to-Noise Ratio (SNR) Sistem pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE) dengan penerapan SC-FDMA.....	58
4.2.3 Analisis Kapasitas Kanal pada Terminal <i>User Equipment (UE) Long Term Evolution</i> (LTE) dengan penerapan SC-FDMA.....	65
4.2.4 Analisis <i>Bit Error Rate</i> (BER) Sistem <i>Long Term Evolution</i> (LTE) dengan penerapan SC-FDMA.....	67
4.2.5 Analisis <i>Peak-to-Average Power Ratio</i> (PAPR) <i>Long Term Evolution</i> (LTE) dengan penerapan SC-FDMA.....	72
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN-LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta <i>Timeline</i> Perkembangan Komunikasi Seluler	6
Gambar 2.2 Frekuensi Domain dari Teknologi <i>Multiple Access</i> LTE	9
Gambar 2.3 (a). <i>Deversity Gain</i>	9
(b). <i>Array Gain</i>	9
(c). <i>Spatial multiplexing Gain</i>	9
Gambar 2.4 <i>Fast Scheduling</i> dan <i>Link Adaption</i>	10
Gambar 2.5 Arsitektur Jaringan LTE	11
Gambar 2.6 Radio Protokol Stack LTE	12
Gambar 2.7 (a). <i>Control Plane Protocol Stack</i>	13
(b). <i>User Plane Protocol Stack</i>	13
Gambar 2.8 Struktur Layer 2 pada <i>Uplink</i>	14
Gambar 2.9 Transmisi <i>Single Carrier</i>	15
Gambar 2.10 Transmisi <i>Multicarrier</i>	16
Gambar 2.11 Prinsip OFDMA	16
Gambar 2.12 Perbandingan Transmisi Simbol Data QPSK pada Teknologi OFDMA dan SC-FDMA	17
Gambar 2.13 Penggunaan <i>Cyclic Prefix</i> untuk Menghindari Terjadinya <i>Inter Symbol Interference</i> (ISI)	18
Gambar 2.14 Short dan Extended <i>Cyclic Prefix</i>	18
Gambar 2.15 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK	20
Gambar 2.16 (a). <i>QPSK Modulator</i>	21
(b). <i>QPSK Demodulator</i>	21
Gambar 2.17 (a). Diagram Kontelasi 16-QAM	21
(b). Diagram Kontelasi 64-QAM	21
Gambar 2.18 (a). <i>QAM Modulator</i>	22
(b). <i>QAM Demodulator</i>	22
Gambar 2.19 Hubungan Radius Jangkauan dengan Sistem Modulasi	23
Gambar 2.20 Struktur Frame LTE	23
Gambar 2.21 Alokasi <i>Resouce</i> Pada Arah <i>Uplink</i> yang Dikontrol oleh eNode-B <i>Scheduller</i>	24
Gambar 2.22 <i>Resource Block</i>	25

Gambar 2.23	<i>Resource Mapping</i> pada SC-FDMA	26
Gambar 2.24	<i>Bandwidth Configure</i>	27
Gambar 2.25	Struktur <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> pada SC-FDMA.....	27
Gambar 2.26	Struktur <i>Receiver</i> SC-FDMA dengan terminal-Q pada sisi <i>Uplink</i>	28
Gambar 2.27	<i>Subcarrier Mapping</i> untuk LFDMA dan DFDMA.....	30
Gambar 2.28	Propagasi <i>Multipath</i>	32
Gambar 2.29	Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN)	34
Gambar 2.30	Kanal <i>Rayleigh fading</i>	35
Gambar 2.31	Diagram Konstelasi QPSK	44
Gambar 2.32	Diagram Konstelasi 16-QAM	44
Gambar 2.33	Diagram Konstelasi 64-QAM	45
Gambar 3.1	Diagram alir perhitungan <i>bandwidth</i> sistem.....	48
Gambar 3.2	Digram alir perhitungan <i>Signal-to-Noise Ratio</i> (SNR) sistem.....	49
Gambar 3.3	Digram alir perhitungan kapasitas kanal sistem	50
Gambar 3.4	Diagram alir perhitungan <i>Bit Error Rate</i> (BER) sistem.....	51
Gambar 3.5	Diagram alir perhitungan <i>Peak –to-Average Power Ratio</i> (PAPR) sistem.....	52
Gambar 4.1	Hubungan Laju Data terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	55
Gambar 4.2	Hubungan <i>Bandwith</i> sistem terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	57
Gambar 4.3	Hubungan Daya Terima Minimum terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	61
Gambar 4.4	Hubungan SNR sistem terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	64
Gambar 4.5	Hubungan Kapasitas Kanal terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	66
Gambar 4.6	Hubungan E_b/N_0 terhadap Jumlah <i>Subcarrier</i>	70
Gambar 4.7	Hubungan BER terhadap Jumlah <i>Subcarrie</i>	71
Gambar 4.8	Perbandingan Nilai PAPR sistem SC-FDMA dan OFDMA	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis dari Teknologi LTE.....	7
Tabel 2.2 Simbol-Symbol pada Kanal <i>Uplink</i> LTE	24
Tabel 2.3 Karakteristik <i>Resource Block</i> pada Kanal <i>Bandwidth</i> yang Berbeda	26
Tabel 2.4 Parameter untuk Tipe <i>Terrain</i> yang Berbeda	39
Tabel 4.1 Karakteristik LTE pada Kanal <i>Bandwidth</i> yang Berbeda.....	54
Tabel 4.2 Hasil Analisis Laju Data pada Kanal <i>Uplink</i>	55
Tabel 4.3 Hasil Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem dan <i>Bandwidth Configure</i>	57
Tabel 4.4 Spesifikasi LTE Model Propagasi Okumura-Hatta.....	58
Tabel 4.5 LTE <i>Operating Range (Sub-Urban)</i>	59
Tabel 4.6 Hasil Analisis Rugi-Rugi Propagasi NLOS.....	60
Tabel 4.7 Hasil Analisis Daya Terima Minimum pada <i>Receiver</i>	61
Tabel 4.8 Hasil Analisis Daya <i>Noise</i> Saluran Transmisi	62
Tabel 4.9 Hasil Analisis <i>Signal-to-Noise Ratio (SNR)</i>	63
Tabel 4.10 Hasil Analisis SNR sistem.....	64
Tabel 4.11 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Sistem	66
Tabel 4.12 Hasil Analisis Eb/No.....	67
Tabel 4.13 Hasil Analisis BER Sistem.....	70
Tabel 4.14 Nilai PAPR sistem SC-FDMA dan OFDMA.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Laju Data.....	81
Lampiran 2 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik <i>Bandwidth</i> sistem.....	82
Lampiran 3 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Daya Terima Minimum.....	83
Lampiran 4 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR sistem.....	84
Lampiran 5 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Kapasitas Kanal Sistem.....	86
Lampiran 6 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Eb/No....	88
Lampiran 7 <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem.....	90



ABSTRAK

ATIKAH SAYIDAH ZUHRO, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2011, *Performansi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)*, Dosen Pembimbing: **Ali Mustofa, ST., MT.** dan **Rusmi Ambarwati, ST., MT.**

Long Term Evolution (LTE) diperkenalkan dalam standar 3GPP Release 8 sebagai perbaikan peningkatan dari teknologi HSPA+ dan merupakan kandidat jaringan “Generasi Keempat” (4G). Pada prinsipnya LTE memiliki kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 326 Mbit/s (4x4 MIMO) untuk *downlink* dan 86 Mbit/s untuk *uplink*. LTE mengadopsi standar *multiple access* yang berbeda dari teknologi sebelumnya, yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada sisi *uplink*. Teknik modulasi yang digunakan pada teknologi LTE adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

Hal yang akan dibahas adalah pengaruh penggunaan masing-masing teknik modulasi untuk performansi pada kanal *uplink* LTE, jika diterapkan *multiple access* SC-FDMA dengan menganalisis parameter bandwidth, SNR, kapasitas kanal, BER, dan PAPR, serta pengaruh dari jumlah subcarrier yang digunakan pada kanal *bandwidth* yang tersedia di LTE yaitu, 1.4 MHz (72 subcarrier), 3 MHz (180 subcarrier), 5 MHz (300 subcarrier), 10 MHz (600 subcarrier), 15 MHz (900 subcarrier) dan 20 MHz (1200 subcarrier).

Kajian yang digunakan bersifat analisis, yaitu analisis yang mengacu terhadap performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada kanal *uplink Long Term Evolution (LTE)* yang mengacu pada studi literatur. Analisis yang digunakan meliputi: studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis data, dan pengambilan kesimpulan.

Dari hasil analisis didapatkan, penggunaan teknik modulasi yang semakin tinggi (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) akan memberikan laju data yang semakin tinggi dimana laju data maksimum pada kanal *bandwidth* 20 MHz untuk QPSK 28.8 Mbps, 16-QAM 57.686.4 Mbps dan 64-QAM 86.6 Mbps. *Bandwidth* sistem yang paling besar adalah pada kanal *bandwidth* 20 MHz, yaitu sebesar 15.54 MHz, dan nilai yang paling kecil adalah pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz yaitu sebesar 0.92 MHz. Teknik modulasi 64-QAM memiliki SNR_{sistem} paling tinggi dibandingkan dengan teknik modulasi yang lain dimana SNR_{sistem} tertinggi yang dapat dicapai modulasi 64-QAM hingga 38.62 dB, 16-QAM hingga 34.31 dB dan QPSK hingga 31.00 dB pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz. Teknik modulasi 64-QAM akan memberikan kapasitas kanal yang paling besar hingga 74.42 Mbps, 16-QAM hingga 53.62 Mbps dan QPSK hingga 38.28 Mbps pada kanal *bandwidth* 20 MHz. Modulasi QPSK memiliki nilai BER paling baik jika dibandingkan modulasi lainnya hingga 2.88×10^{-16} , modulasi 16-QAM hingga 4.26×10^{-5} dan modulasi 64-QAM hingga 4.56×10^{-3} . Efisiensi *power amplifier* paling baik diberikan oleh modulasi QPSK yang memiliki nilai PAPR sebesar 0 dB, untuk 16-QAM sebesar 2.55dB dan 64-QAM sebesar 3.68 dB.

Kata Kunci: *LTE, SC-FDMA, subcarrier, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, bandwidth, SNR, kapasitas kanal, BER, PAPR.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi seluler pada awalnya dibatasi hanya layanan suara saja, karena pada saat itu layanan hanya terdapat di sejumlah kecil pelanggan dikarenakan peralatan yang digunakan sangat mahal, tidak praktis dan menghabiskan daya baterai. Tetapi beberapa tahun terakhir ini komunikasi seluler mengalami pertumbuhan secara besar-besaran sehingga standar komunikasi lebih ditekankan pada penyediaan sistem yang dioptimalkan untuk komunikasi data.

Penggunaan komunikasi data telah tumbuh cepat dimana *Third Generation Partnership Project* (3GPP) pada Desember 2008 memperkenalkan *Long Term Evolution* (LTE) *release 8* untuk memenuhi kebutuhan pelanggan akan kecepatan dalam layanan komunikasi data. Pada prinsipnya secara teoritis LTE memiliki kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 326 Mbit/s (4x4 MIMO) untuk *downlink* dan 86 Mbit/s untuk *uplink*, hal ini sepuluh kali lipat dibandingkan dengan teknologi pendahulunya *High Speed Packet Access* (HSPA+). LTE dirancang untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik, peningkatan kapasitas jaringan, meminimalisasikan *latency* antar pelanggan dengan cara mengurangi jumlah elemen jaringan, biaya operasional yang rendah bagi operator serta layanan *mobile broadband* yang berkualitas tinggi. Sistem komunikasi LTE mengadopsi teknologi *multiple access Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink*. Kedua teknologi ini adalah sebagai solusi yang menyediakan *subcarrier* yang *orthogonal* antar pelanggan, untuk mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas jaringan. (Harri Holma, 2009)

Pada *transmitter* yang didesain menggunakan OFDMA memiliki kekurangan, yaitu nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) dari sinyal OFDM yang relatif tinggi dan membutuhkan RF *power amplifier* yang tinggi. Teknik ini sulit ditoleransi jika diimplementasikan pada sisi *uplink* karena *power amplifier pada User Equipment* (UE) sangat terbatas. Oleh karena itu pada sisi *uplink* digunakan teknik SC-FDMA. SC-FDMA adalah bentuk modifikasi dari OFDMA, yang memiliki kelebihan nilai PAPR yang lebih rendah dibandingkan dengan sinyal OFDMA, PAPR yang rendah ini dapat

digunakan untuk mereduksi konsumsi daya pada UE. Teknik modulasi yang dapat digunakan pada teknologi LTE adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. (Stefania Sesia, 2009)

Skripsi ini akan membahas mengenai seberapa besar pengaruh penggunaan masing-masing teknik modulasi pada performansi kanal *uplink* LTE jika diterapkan *multiple access* SC-FDMA, meliputi analisis *bandwidth*, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), kapasitas kanal, *Bit Error Rate* (BER) dan *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR).

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana performansi *bandwidth* LTE jika diterapkan SC-FDMA dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM?
2. Bagaimana performansi *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) LTE jika diterapkan SC-FDMA dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM?
3. Bagaimana performansi kapasitas kanal LTE jika diterapkan SC-FDMA dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM?
4. Bagaimana performansi *Bit Error Rate* (BER) LTE jika diterapkan SC-FDMA dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM?
5. Bagaimana performansi *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) LTE jika diterapkan SC-FDMA dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Standarisasi teknologi LTE mengacu pada 3GPP *release* 8,
2. Teknik pentransmisian pada kanal *uplink* LTE menggunakan teknologi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA),
3. Analisis transmisi data pada kanal *uplink* yang dilakukan yaitu dari *User Equipment* (UE) menuju eNode-B,
4. Parameter sistem SC-FDMA yang akan dibahas berupa performansi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER, dan PAPR,
5. Tipe modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM,

6. Model propagasi yang digunakan untuk uji performansi sistem SC-FDMA adalah model propagasi Okumura-Hatta serta menggunakan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh fading*,
7. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software Matlab 7.10.0 (R2010a).

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan masing-masing teknik modulasi untuk performansi pada kanal uplink LTE diterapkan multiple access SC-FDMA.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori-teori yang mendukung berupa teknologi *Long Term Evolution* (LTE) berdasarkan standarisasi yang telah ditetapkan oleh 3GPP *release 8*, meliputi pengertian LTE, spesifikasi teknis teknologi LTE, arsitektur jaringan LTE, protokol pada LTE, dan teknologi yang diterapkan pada LTE.

Memuat juga dasar teori tentang *multiple-access Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), teknik penransmisian menggunakan teknologi SC-FDMA, desain *physical layer* pada kanal *uplink* LTE, karekteristik model kanal yang akan digunakan, serta parameter-parameter untuk menghitung performansi SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Memuat studi literatur mengenai *Long Term Evolution* (LTE) dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), metode pengambilan data-data sekunder yang digunakan dalam skripsi, metode

analisis data, dan metode pengambilan kesimpulan dari analisis perhitungan yang akan dilakukan.

BAB IV : PEMBAHASAN DAN HASIL

Melakukan analisis perhitungan terhadap performansi penerapan *multiple-access Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada kanal *uplink Long Term Evolution (LTE)*.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sekilas Perkembangan Sistem Komunikasi Seluler

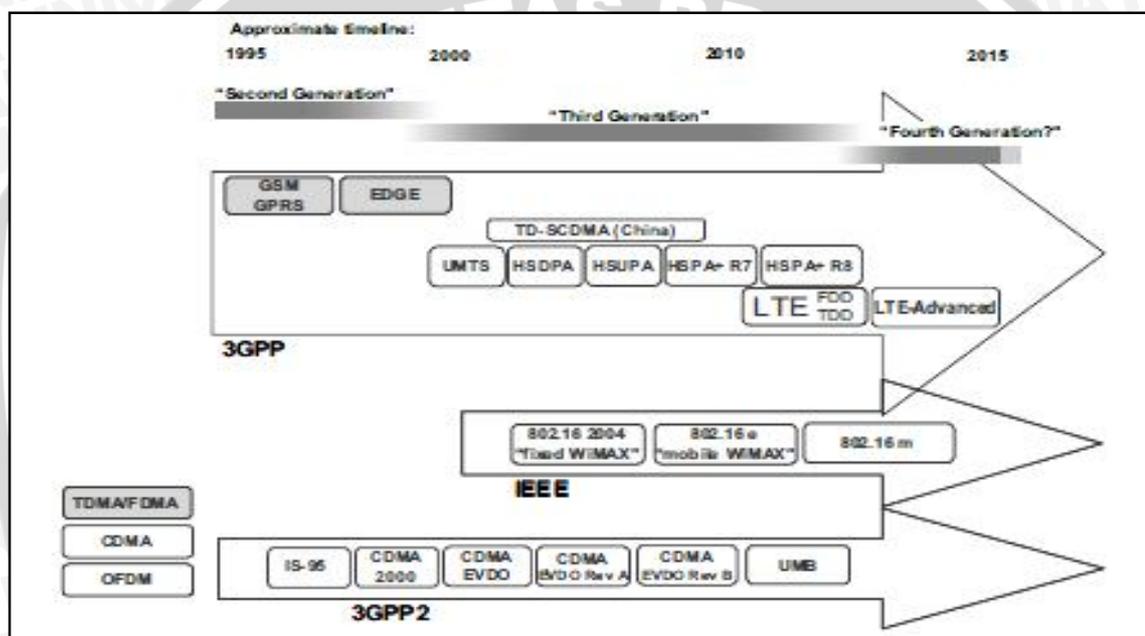
Sistem komunikasi seluler pertama yang dapat dilihat pertumbuhan komersialnya dalam skala besar tiba pada tahun 1980-an dan dikenal dengan sistem “Generasi Pertama” (1G). Generasi pertama ini terdiri dari sejumlah sistem yang dikembangkan secara independen di seluruh dunia, misalnya *Analog Mobile Phone System* (AMPS), digunakan di Amerika, *Total Access Communication System* (TACS), digunakan di beberapa bagian Eropa, *Nordic Mobile Telephone* (NMT), digunakan dalam bagian Eropa dan *Jepang Sistem Komunikasi Total Access* (J-TACS), digunakan di Jepang dan Hong Kong, dan semua sistem dari teknologi generasi pertama masih menggunakan teknologi analog.

Global roaming untuk pertama kalinya muncul sebagai awal lahirnya sistem digital “Generasi Kedua” (2G), sistem ini dikembangkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) dan dikenal sebagai *Global System for Mobile Communications* (GSM). GSM menjadi standar yang kuat dan diterima dengan jumlah pelanggan yang luas. Hal ini dipicu oleh kemajuan teknologi *mobile handset* dengan perangkat yang lebih efisien dan modis, serta daya tahan baterai yang lama. GSM memberikan kemudahan berkomunikasi yang tidak ada pada sistem komunikasi sebelumnya, yaitu komunikasi suara dan pesan teks, yang kemudian dikembangkan sistem layanan komunikasi data yang canggih.

Sebagai lanjutan langkah maju dari teknologi GSM, 3GPP kemudian meluncurkan sistem komunikasi *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) sebagai “Generasi Ketiga” (3G) untuk komunikasi seluler yang lebih dioptimalkan pada layanan komunikasi data. UMTS telah diperluas dengan sistem *downlink* dan *uplink* berkecepatan tinggi, *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) *release 5*, *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) *release 6* dan secara kolektif dikenal sebagai *High Speed Packet Access* (HSPA). HSPA telah lebih ditingkatkan pada *release 7*, dikenal sebagai HSPA+ dengan orde modulasi yang lebih tinggi dan untuk pertama kalinya dalam sistem komunikasi seluler yang menggunakan operasi *multisream* sistem antenna *Multiple-input Multiple-output* (MIMO). (Stefania Sesia, 2009)

Sebagai perbaikan peningkatan dari HSPA+, maka diperkenalkan *Long Term Evolution* (LTE) dalam standar 3GPP *Release 8*. LTE merupakan kandidat standar

jaringan “Generasi Keempat“ (4G) untuk memenuhi kebutuhan pelanggan akan kecepatan dalam layanan komunikasi data. Pada prinsipnya, secara teoritis LTE memiliki kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 326 Mbit/s (4x4 MIMO) untuk *downlink* dan 86 Mbit/s untuk *uplink*, hal ini sepuluh kali lipat dibandingkan dengan teknologi pendahulunya *High Speed Packet Access* (HSPA+). LTE dirancang untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik, peningkatan kapasitas jaringan, meminimalisasikan *latency* antar pelanggan dengan cara mengurangi jumlah elemen jaringan, biaya operasional yang rendah bagi operator serta layanan *mobile broadband* yang berkualitas tinggi. (Harri Holma, 2009)



Gambar 2.1 Peta *Timeline* Perkembangan Komunikasi Seluler
(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

Ada tiga teknologi *multiple access* yang digunakan dalam perkembangan komunikasi seluler yang dirilis oleh 3GPP. Pada generasi kedua, keluarga GSM/GPRS/EDGE menggunakan teknologi *Time and Frequency Division Multiple Access* (TDMA/FDMA). Kemudian pada generasi ketiga, keluarga UMTS ditandai dengan masuknya teknologi *Code Division Multiple Access* (CDMA) yang kemudian di dalam 3GPP dikenal sebagai *Wideband-CDMA* (WCDMA). Akhirnya LTE mengadopsi teknologi *multiple access Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM), dimana teknologi merupakan teknologi akses yang mendominasi evolusi terbaru dari semua standar radio *mobile*. (Stefania Sesia, 2009)

2.2 Long Term Evolution (LTE)

LTE diperkenalkan dalam standar 3GPP *Release 8*, perubahan signifikan yang terjadi pada LTE meliputi *air interface* dan *flat all IP network*. Di masa mendatang, pelanggan dijanjikan dapat melakukan *download* dan *upload video high definition* dan konten-konten media lainnya, mengakses e-mail dengan *attachment* besar serta bergabung dalam *video conference* dimanapun dan kapanpun dan dengan konsumsi daya yang lebih efisien pada sisi *mobile terminal*. Tabel 2.1 menjelaskan spesifikasi teknis dari teknologi LTE:

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis dari Teknologi LTE

SPESIFIKASI	KETERANGAN
Kanal <i>Bandwidth</i>	Dapat beroperasi pada kanal <i>bandwidth</i> yang berbeda-beda, termasuk diantaranya adalah 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz
<i>Peak data rates</i> (Mbps)	<i>Downlink</i> 100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO), pada spektrum 20 MHz dan menggunakan 64-QAM <i>Uplink</i> 28 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM), pada spektrum 20 MHz
Rata-rata <i>throughput per MHz</i> dibandingkan HSPA <i>Release 6</i>	<i>Downlink</i> 3-4 lebih tinggi <i>Uplink</i> 2-3 lebih tinggi
Mobilitas	0-15 km/h (optimal E-UTRAN) 15-120 km/h (didukung dengan <i>high performance</i>) 120-350 km/h (koneksi tetap dipertahankan dengan band frekuensi yang memadai)
<i>Latency</i>	5ms untuk <i>user-plane latency pada IP layer, for one-way</i> (waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman paket dari sumber sampai dengan tujuan) maupun round-trip. 100 ms untuk <i>control-plane latency from idle to active state</i>
<i>User per cell</i>	Kurang lebih 200 <i>user</i> pada <i>bandwidth</i> 5 MHz Kurang lebih 400 <i>user</i> pada <i>bandwidth</i> di atas 5 MHz
Alokasi Spektrum	Operation <i>paired spectrum (FDD)</i> <i>Unpaired spectrum (TDD)</i>
<i>Duplexing</i>	<i>FDD, TDD</i>
<i>Multiple Access</i>	<i>Downlink</i> OFDMA <i>Uplink</i> SC-FDMA
Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>Subcarrier spacing/mapping</i>	15 KHz/ <i>localized</i>
<i>FFT size (5 MHz bandwidth)</i>	512
<i>Channel coding</i>	<i>Convolution coding</i> dan <i>Turbo coding</i>
MIMO	<i>Downlink</i> 2 × 2, 4 × 2, 4 × 4 <i>Uplink</i> 1 × 2, 1 × 4

(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

Band frekuensi kerja LTE bervariasi dan mencakup seluruh keluarga besar IMT-2000 antara 450 MHz - 2.6 GHz, namun pada masing-masing negara mempunyai kebijakan dimana nantinya LTE akan diimplementasikan, di Indonesia LTE kemungkinan besar akan ditempatkan pada *band* baru 700 atau 2600 MHz dan refarming pada *band* 900, 1800, dan 2100 MHz.

LTE mendukung kanal *bandwidth* 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz. Akan tetapi, *bandwidth* yang dipilih sangat tergantung pada pengalokasian frekuensi dari penyedia layanan, implementasi vendor, persyaratan layanan, lokasi geografis, kapabilitas eNode-B dan UE (*User Equipment*), skema *frequency reuse*, dan lain sebagainya.

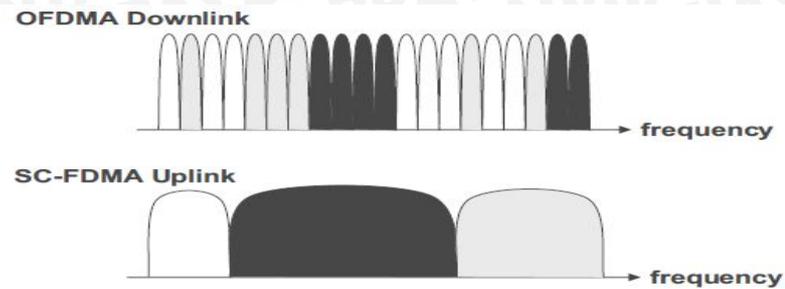
2.2.1 Teknologi Long Term Evolution (LTE)

Agar dapat memenuhi berbagai persyaratan dari teknologi LTE yang baru, maka diperlukan kemajuan teknologi radio seluler untuk merealisasikannya. Pada dasarnya ada tiga teknologi utama yang membentuk desain *radio interface* LTE, antara lain adalah: teknologi *multicarrier*, teknologi *multi-antenna*, dan aplikasi pada paket *switching* pada *radio interface*. (Stefania Sesia, 2009)

2.2.1.1 Teknologi Multicarrier

Pendekatan *multicarrier* untuk *multiple access* pada LTE adalah hal utama untuk mendesain suatu teknologi telekomunikasi, dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi performansi sistem komunikasi *nirkabel* dan mengakibatkan penurunan performansi dari sistem tersebut. Salah satunya adalah pergerakan yang dilakukan oleh *user* yang dapat mengakibatkan timbulnya *fading*. *Fading* yang timbul dapat mengakibatkan redaman terhadap sinyal yang diterima oleh *receiver* sehingga menurunkan performansi sistem.

LTE menggunakan teknologi *multiple access Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink*. Kedua teknologi ini adalah sebagai solusi dimana menyediakan *subcarrier* yang *orthogonal* antar pelanggan untuk mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas jaringan. Kedua skema *multicarrier* ini membuka domain frekuensi sebagai dimensi baru dari fleksibilitas sistem (segi *bandwidth*), seperti diilustrasikan pada gambar di bawah ini. (Stefania Sesia, 2009)

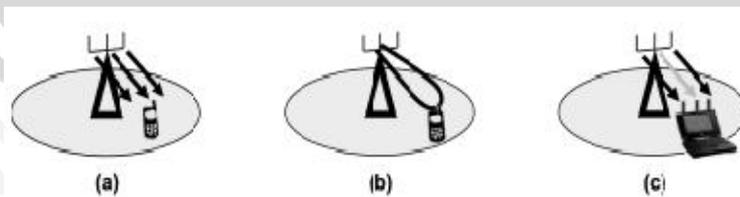


Gambar 2.2 Frekuensi Domain dari Teknologi *Multiple Access* LTE
(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

2.2.1.2 Teknologi *Multiple Antenna*

Penggunaan teknologi *multiple antenna* memungkinkan eksploitasi dari domain *spatial* sebagai dimensi lain yang baru. Hal ini merupakan upaya untuk efisiensi spektrum yang lebih tinggi, yaitu dengan menggunakan *multiple-antenna* skala *theoretically-achievable*, efisiensi spektral *linier*, minimum jumlah antenna *transmitter* dan *receiver* bekerja, setidaknya di lingkungan propagasi radio yang sesuai. Teknologi *multiple antenna* membuka pintu untuk berbagai macam fitur. Beberapa antenna dapat digunakan dalam berbagai cara, terutama didasarkan pada tiga prinsip dasar, yaitu:

- *Diversity gain*, penggunaan keragaman ruang/*space-diversity* yang tersedia dari *multiple antenna* untuk meningkatkan ketahanan transmisi terhadap *multipath fading*.
- *Array gain*, konsentrasi energi dalam satu atau lebih petunjuk yang diberikan melalui *precoding* atau *beamforming*. Hal ini juga memungkinkan beberapa pelanggan yang terletak di arah yang berbeda untuk dilayani secara simultan (disebut *multi-user MIMO*).
- *Spatial multiplexing gain*, pentransmisi beberapa aliran sinyal untuk satu pelanggan pada *multiple spatial layer* yang dibuat dari kombinasi dari beberapa *antenna* yang tersedia.

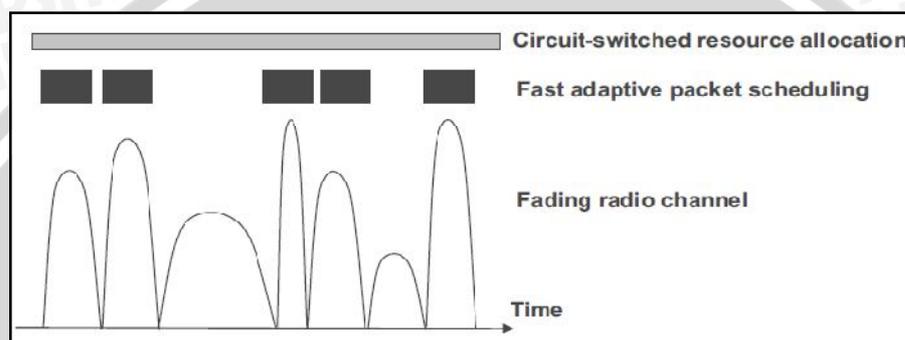


Gambar 2.3 (a). *Diversity gain*; (b). *Array gain*; (c). *Spatial multiplexing gain*
(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

Pemilihan dan desain dari berbagai *multiple antenna* yang akan digunakan pada LTE adalah *antenna* yang mampu beradaptasi sesuai dengan penyebaran dan kondisi propagasi dari pelanggan yang berbeda. (Stefania Sesia, 2009)

2.2.1.3 Aplikasi *Packet Switched Radio Interface*

LTE telah dirancang sebagai sistem *multi-service* yang keseluruhannya adalah *packet-oriented* tanpa adanya ketergantungan pada protokol *circuit-switched* dengan *connection-oriented*. Dalam LTE, *packet-switched* diaplikasikan pada semua *layer* di protokol *stack*.



Gambar 2.4 *Fast Scheduling* dan *Link Adaption*
(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

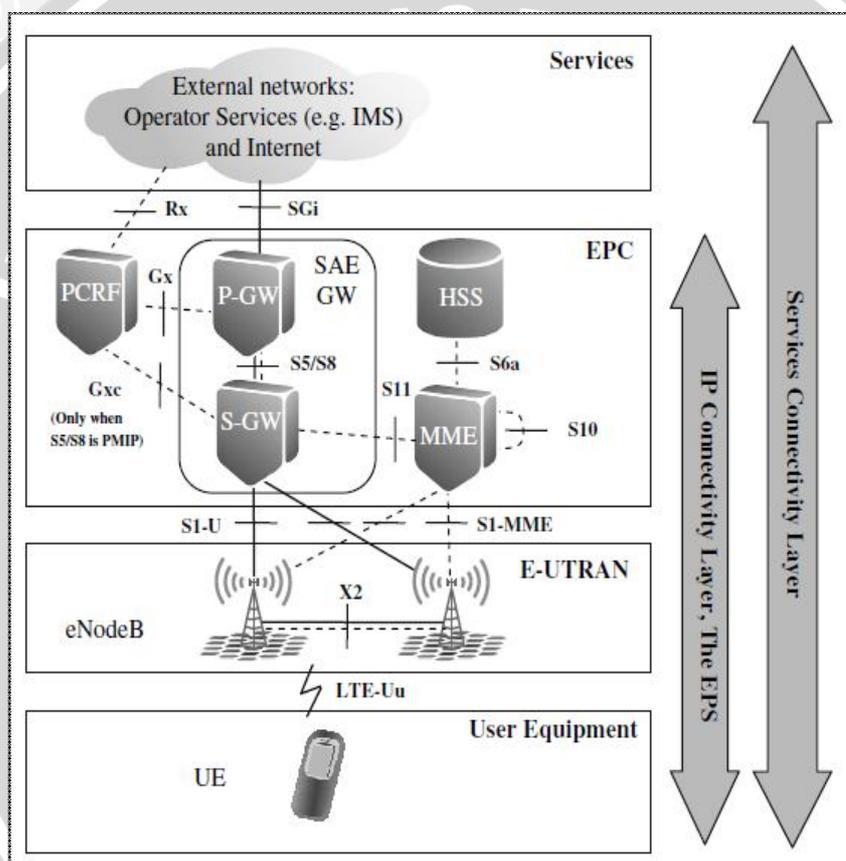
Pada LTE, dalam rangka meningkatkan sistem *latency*, durasi paket semakin berkurang dari 2 ms pada HSPDA menjadi hanya 1 ms. Interval transmisi pendek ini, bersama dengan dimensi baru frekuensi dan *space*, telah diperpanjang kawasannya dari teknik *cross-layer* antara MAC dan *Physical Layer*. Hal ini dikombinasikan dengan sinyal control yang sangat canggih, yang terbukti menjadi salah satu tantangan yang dimasukkan dalam konsep LTE. (Stefania Sesia, 2009)

2.2.3 Arsitektur Jaringan Long Term Evolution (LTE)

Secara singkatnya jaringan LTE disederhanakan hanya dengan menggunakan dua jenis *node*, yaitu *evolved Node-B* (eNode-B) dan *Mobility Management Entity/Gateway* (MME/GW). Salah satu perubahan yang paling signifikan adalah *Radio Network Controller* (RNC) tereliminasi dari jalur data dan fungsinya sekarang tergabung didalam eNode-B. Beberapa kelebihan menggunakan *single-node* pada *access network* antara lain dapat mengurangi *latency* antar pelanggan dan pendistribusian beban RNC ke beberapa eNode-B. (Farooq Khan, 2009)

Arsitektur jaringan LTE dirancang dengan tujuan mendukung *packet-switched* dengan mobilitas tanpa batas, *Quality of Service* (QOS), serta *latency* yang minimal.

Pendekatan *packet-switched* memungkinkan LTE untuk mendukung semua layanan termasuk layanan suara melalui koneksi paket. Layanan *packet switched* bertujuan untuk menyediakan konektivitas *Internet Protocol* (IP) yang tidak terputus-putus antara *User Equipment* (UE) dan *Packet Data Network* (PDN), tanpa adanya gangguan pada aplikasi UE selama mobilitas. Arsitektur LTE meliputi evolusi radio akses yang disebut *Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), ditemani dengan evolusi dari aspek *non-radio* dibawah istilah “*System Architecture Evolution* (SAE)” yang meliputi jaringan *Evolved Packet Core* (EPC). Keduanya, E-UTRAN dan SAE terdiri atas elemen-elemen *Evolved Packet System* (EPS).



Gambar 2.5 Arsitektur Jaringan LTE
(Sumber: Harri Holma, 2009)

Evolved Packet System (EPS) pada 3GPP dibagi menjadi empat level, yaitu: *User Equipment* (UE), *Evolved-UTRAN* (E-UTRAN), *Evolved Packet Core Network* (EPC), dan *Services domain*. (Stefania Sesia, 2009)

UE, E-UTRAN, dan EPC bersama-sama mewakili *layer* konektivitas *Internet Protocol* (IP). Fungsi utama dari *layer* ini adalah untuk menyediakan konektivitas berbasis IP, dan sangat dioptimalkan penyampaian data pada tujuan saja. Semua

layanan berbasis IP, *node circuit switched* dan *interface* pada arsitektur 3GPP sebelumnya tidak hadir pada E-UTRAN dan EPC sama sekali.

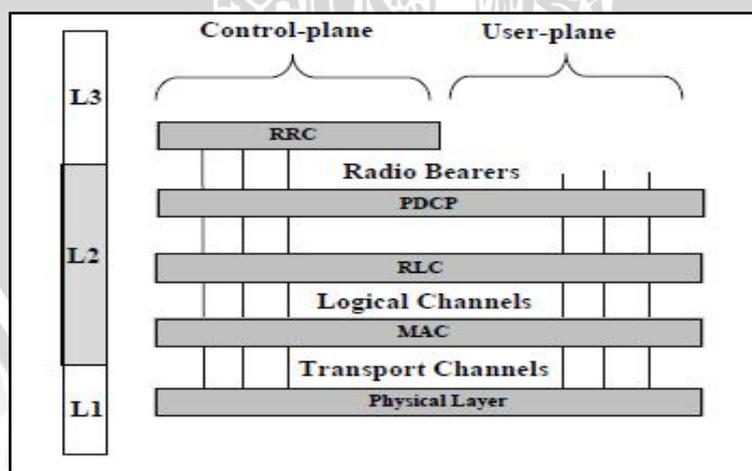
Perkembangan dari E-UTRAN terkonsentrasi pada satu *node* disebut *envolved-NodeB* (eNode-B), semua fungsi radio tergabung disana. eNode-B adalah *terminal point* dari semua protokol radio terkait. Sebagai jaringan, E-UTRAN hanyalah *mesh* sederhana eNode-B terhubung ke tetanggannya eNode-B dengan *interface* X2.

Core Network (CN) atau biasa disebut EPC pada jaringan LTE bertanggung jawab pada semua kontrol pada UE dan membentuk *bearer* (pembawa). Elemen dari EPC terdiri atas *Mobile Management Entity* (MME), *Service Gateway* (S-GW), *PDN Gateway* (P-GW), *Home Subscription Server* (HSS), dan *Policy and Charging Resource Function* (PCRF). *Interface* S1 menjadi penghubung antara elemen EPC satu dengan yang lain dan antara elemen EPC dengan eNode-B.

Salah satu perubahan arsitektur yang signifikan di jaringan inti adalah bahwa EPC tidak tergantung pada domain *circuit switched*, dan tidak ada koneksi langsung ke *circuit switched* tradisional seperti pada ISDN atau PSTN. Fungsional EPC setara dengan domain *packet switched* dari jaringan 3GPP terdahulu. (Harri Holma, 2009)

2.2.3 Protokol Stack LTE

Arsitektur protokol pada LTE terbagi atas protokol *stack Control Plane* (CP) dan *User Plane* (UP), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.

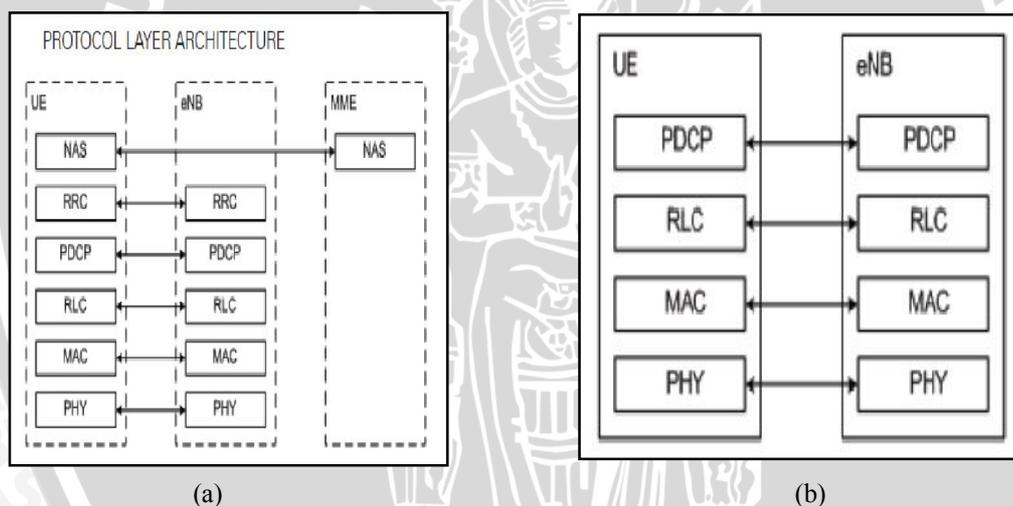


Gambar 2.6 Radio Protokol Stack LTE
(Sumber: Hari Holma, 2009)

Peranan dari *interface* radio protokol LTE adalah untuk *set up*, konfigurasi, merilis *bearer* dan menyediakan sarana untuk pengiriman *bearer* EPS. *Layer* 1 pada LTE adalah *physical layer*, sedangkan protokol *layer* 2 terdiri atas: *Medium Access*

Control (MAC), Radio Link Control (RLC) and Packet Data Convergence Protocol (PDCP). Layer 3 terdiri atas protokol Radio Resource Control (RRC), dimana layer ini adalah bagian dari *Cyclic Prefix* (CP). (Harri Holma, 2009)

Pada CP, protokol *Non-Access Stratum* (NAS) yang bekerja diantara MME dan UE digunakan untuk kontrol tujuan seperti *network attach*, otentikasi, *setting bearers*, dan *mobility management*. Semua pesan pada NAS terintegritas dan dilindungi oleh MME dan UE. Layer RRC pada eNode-B bertugas membuat kebijakan *handover* berdasarkan pengukuran *cell* yang berdekatan yang dikirim oleh UE, halaman untuk UE melalui udara, *broadcasting* sistem informasi, mengontrol perhitungan laporan UE seperti periodisitas laporan *Channel of Quality Information* (CQI) dan mengalokasikan identitas tingkat sel sementara untuk UE yang aktif. RRC layer juga mengeksekusi transfer konteks UE dari sumber eNode-B untuk target eNode-B selama *handover* dan melakukan perlindungan yang terintegritas dari pesan RRC. Layer RRC bertanggung jawab untuk *setting up* dan perawatan radio *bearer*.



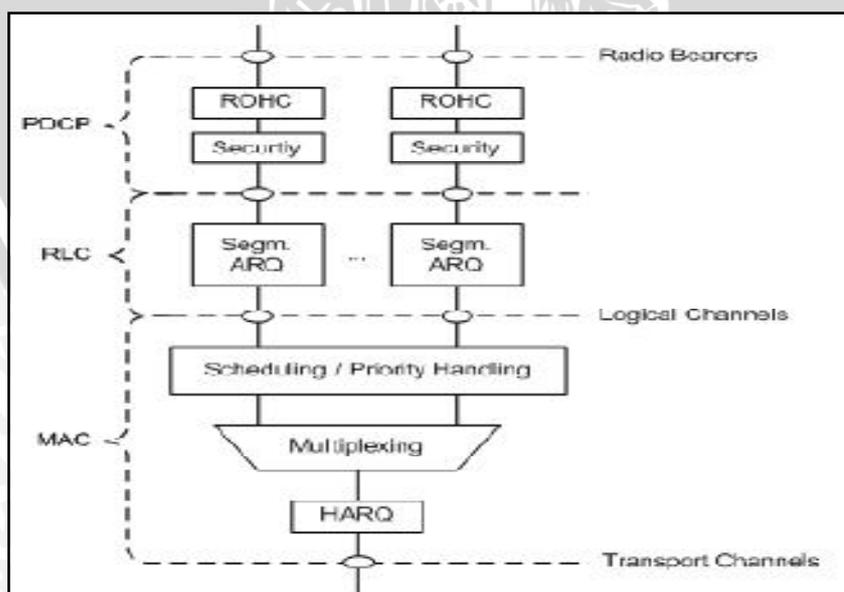
Gambar 2.7 (a) Control Plane Protocol Stack (b) User Plane Protocol Stack
(Sumber: LTE A Technical Overview, 2007)

Pada UP, layer PDCP bertanggung jawab untuk *compressing/decompressing header* dari IP paket *user plane* menggunakan *Robust Header Compression* (ROHC) untuk efisiensi penggunaan *bandwidth*. Layer ini juga melakukan *ciphering* pada UP maupun CP. Karena pesan NAS dicatat pada RRC, maka mereka secara efektif dapat dilakukan *double ciphered* dan proteksi integritas, pertama pada MME dan sekali lagi die Node-B.

Layer RLC digunakan untuk format dan *transport traffic* antara UE dan eNode-B. RLC menyediakan tiga mode reliabilitas yang berbeda untuk data transport, yaitu

Acknowledged Mode (AM), *Unacknowledged Mode (UM)*, atau *Transparent Mode (TM)*. Mode UM sesuai untuk transport pada layanan *Real Time (RT)* karena layanan tersebut sensitif *delay* dan tidak bias menunggu untuk ditransmisikan ulang. Mode AM, cocok untuk layanan *non-RT (NRT)* seperti *download* file. Mode TM digunakan ketika *size PDU* diketahui seperti untuk *broadcasting* sistem informasi. *Layer RLC* menyediakan pengiriman berurutan dari *Service Data Unit (SDUs)* untuk *layer* atasnya dan mengeliminasi duplikat SDUs dari yang dikirimkan ke *layer* atasnya. Ini juga memungkinkan segmentasi SDU tergantung pada kondisi radio. (LTE: A Technical Overview, 2007)

Selain itu, ada dua level dari transmisi ulang untuk menyediakan keandalan, biasa disebut *Hybrid Automatic Repeat request (HARQ)* pada *layer MAC* dan ARQ luar pada *layer RLC*. ARQ luar dibutuhkan untuk mengatasi *residual error* yang tidak dikoreksi HARQ yang dibuat sederhana dengan menggunakan mekanisme umpan balik *single bit error*. *N-process stop* dan *wait-HARQ* ditugaskan di *asynchronous-transmission* pada *downlink* dan *synchronous-retransmission* pada *uplink*. *Synchronous HARQ* berarti transmisi ulang pada blok HARQ terjadi pada periodik interval waktu yang telah ditentukan. Oleh karena itu tidak ada eksplisit *signaling* yang dibutuhkan untuk mengindikasikan jadwal transmisi ulang ke *receiver*. *Asynchronous HARQ* menawarkan fleksibilitas dari jadwal transmisi ulang berdasarkan kondisi *air interface*. (Hyung G. Myung, 2007)

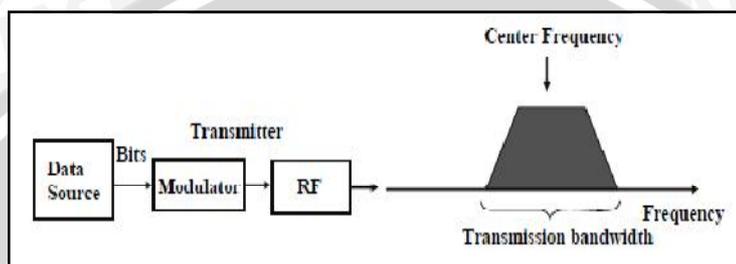


Gambar 2.8 Struktur Layer 2 pada *Uplink*
(Sumber: LTE a Technical Overview, 2007)

2.3. Single Carrier Frekuensi Division Multiple Access (SC-FDMA)

2.3.1 Single Access dan Multiple Access

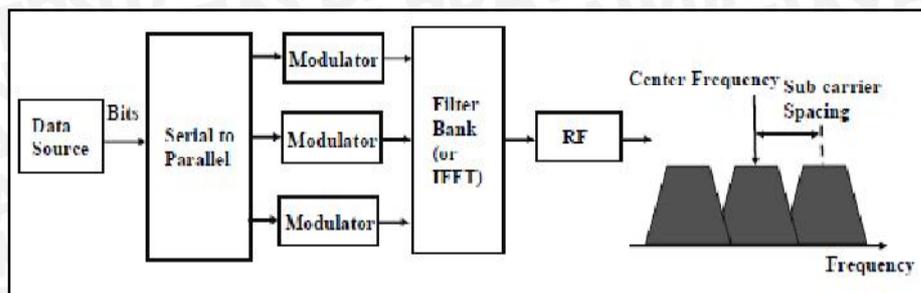
Transmisi *Single Carrier* (SC) berarti bahwa informasi dimodulasi hanya dengan satu *carrier* (sinyal pembawa), dimana ada yang menyesuaikan fasa atau amplitudo dari sinyal pembawa ataupun bisa jadi keduanya. Semakin tinggi *data rate* (kecepatan data), maka semakin tinggi pula *symbol rate* (kecepatan simbol) pada sistem digital, sehingga memerlukan *bandwidth* yang lebih besar.



Gambar 2.9 Transmisi *Single Carrier*
(Sumber: Harri Holma, 2009)

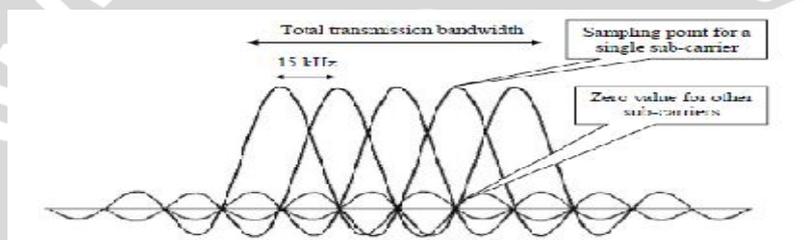
Penggunaan *multicarrier*, diperlihatkan pada Gambar 2.10 dimana data dibagi pada *subcarrier* yang berbeda pada satu *transmitter*. Sistem memiliki bank filter sebagai solusi praktis (seperti yang dipresentasikan pada gambar), atau biasanya akan digantikan dengan *Invers Discrete Fourier Transform* (IDFT) ataupun *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk aplikasi, dimana di dalam sistem yang memiliki jumlah *subcarrier* yang banyak. Tetapi permasalahannya terdapat jarak (spasi) yang konstan antara *subcarrier* yang berdekatan. Untuk mengatasi ketidakefisienan dari *guard band* yang terjadi, maka digunakan teknologi *multicarrier* dimana antara *subcarrier* satu dengan yang lainnya saling *orthogonal* pada transmisi yang berbeda dimana antara satu dengan yang lainnya tidak terjadi interferensi.

3GPP *release 8* telah menetapkan *multiple access* OFDMA pada sisi *downlink* dan SC-FDMA pada sisi *uplink*. OFDMA adalah solusi untuk mengatasi ketidakefisienan *band-guard*, OFDMA menerapkan prinsip dimana antara *subcarrier* satu dengan yang lainnya saling *orthogonal*, yang berarti *null sideband* dari salah satu *subcarrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *subcarrier* yang selanjutnya, sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mempengaruhi sinyal. Pada LTE *release 8*, perbedaan frekuensi konstan (spasi) antar *subcarrier* ditetapkan 15 KHz (atau alternatifnya 7.5 KHz yang direncanakan akan didukung pada *release* selanjutnya untuk aplikasi *broadcast* seperti TV *mobile*). (Harri Holma, 2009)



Gambar 2.10 Transmisi *Multicarrier*
(Sumber: Harri Holma, 2009)

OFDMA mengembangkan teknologi *multicarrier* OFDM untuk menyediakan *multiple access* yang sangat fleksibel. OFDM digunakan untuk membagi *bandwidth* yang tersedia untuk transmisi sinyal ke banyak *subcarrier narrowband* yang diatur saling *orthogonal*, baik secara individu maupun dalam kelompok dan dapat membawa aliran informasi yang independen.



Gambar 2.11 Prinsip OFDMA
(Sumber: Harri Holma, 2009)

OFDMA juga mempunyai tantangan, antara lain (Harri Holma, 2009):

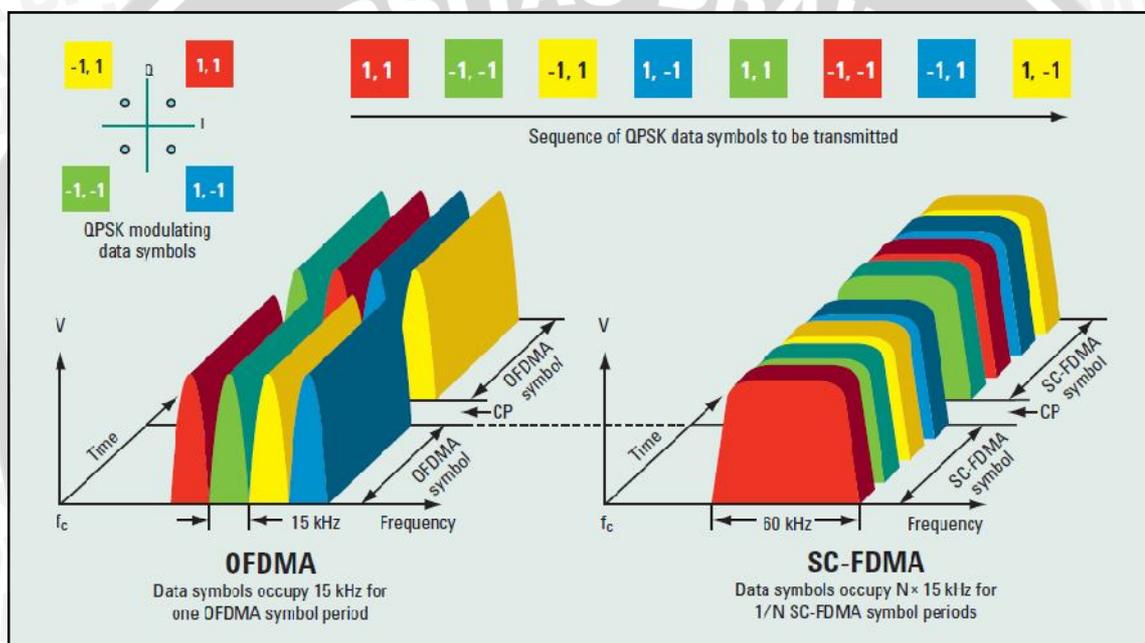
- Toleransi terhadap frekuensi offset. Hal ini ditangani di desain LTE dengan jarak *subcarrier* 15 kHz, yang memberikan toleransi cukup besar pergeseran *Doppler* karena ketidaksempurnaan kecepatan dan implementasi.
- OFDMA merupakan *multiple access* yang paling fleksibel, tetapi desain *transmitter* OFDMA lebih mahal dan *Peak to Average Ratio* (PAR) yang tinggi dari sinyal ditransmisikan, membutuhkan linieritas tinggi dari *transmitter*. Linieritas *amplifier* memiliki efisiensi daya konversi rendah dan *RF power amplifier* yang tinggi, hal ini sulit ditoleransi untuk *transmitter* di sisi UE. Dalam LTE permasalahan ini diselesaikan dengan menggunakan SC-FDMA di sisi *uplink*, karena memungkinkan efisiensi daya *amplifier* yang lebih baik.

2.3.2 Prinsip Dasar *Single Carrier-FDMA* (SC-FDMA)

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) adalah suatu teknik *multiple access* yang menggunakan beberapa *multicarrier* yang saling tegak lurus

(*orthogonal*). SC-FDMA pada dasarnya merupakan bentuk modifikasi dari *orthogonal-FDMA* (OFDMA), yaitu teknik *multiple access* untuk laju data *uplink* yang tinggi dalam sistem komunikasi seluler masa depan.

SC-FDMA pada dasarnya mempunyai performansi *throughput* dan kompleksitas yang hampir sama dengan OFDMA. Sama seperti OFDMA, sistem SC-FDMA membagi *bandwidth* transmisi menjadi beberapa *subcarrier*, dengan *subcarrier* yang *orthogonal* satu dengan lainnya untuk mengirimkan informasi. *Cyclic prefix* (CP) atau *guard interval* juga ditambahkan secara periodik pada saat pentransmisian sinyal untuk menghindari terjadinya *inter symbol interference* (ISI) dan penyederhanaan desain *receiver*. (Harri Holma, 2009)

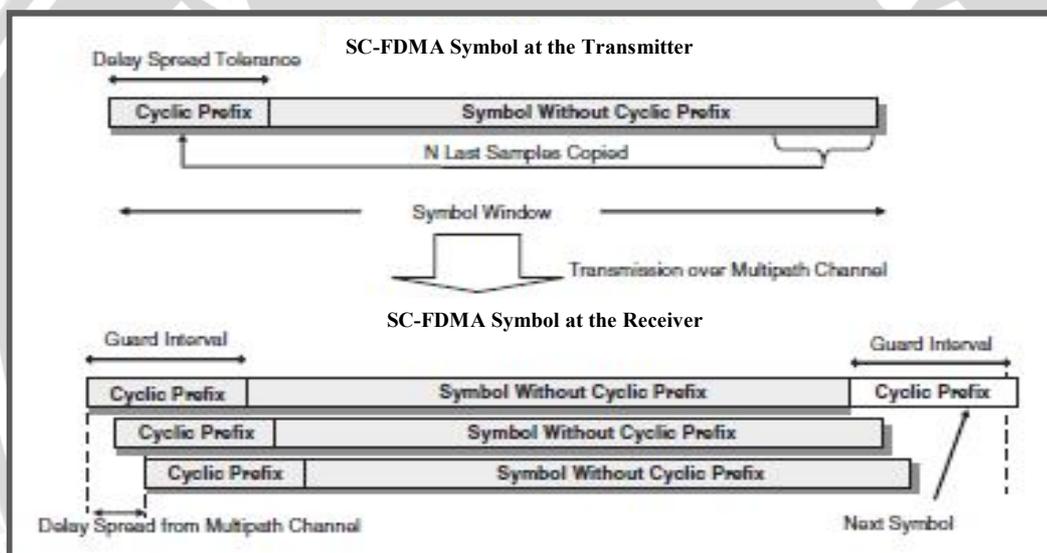


Gambar 2.12 Perbandingan Transmisi Simbol Data QPSK pada Teknologi OFDMA dan SC-FDMA
(Sumber: Moray Rumney, 2009)

Berbeda dengan OFDMA dimana data simbol secara langsung dimodulasikan pada setiap *subcarrier* bebas dan ditransmisikan secara parallel, sistem SC-FDMA mentransmisikan data simbol pada masing-masing grup *subcarrier* secara berurutan data (simbol SC-FDMA ditransmisikan secara berurutan sebagai “*single carrier*”). Jadi, dalam setiap periode simbol pada semua *subcarrier* yang ditransmisikan oleh sinyal SC-FDMA membawa masing-masing komponen modulasi simbol. Pengaturan ini dapat mengurangi *envelope fluctuation* pada gelombang sinyal yang ditransmisikan. Oleh karena itu teknik sinyal SC-FDMA ini memiliki kelebihan nilai PAPR yang lebih rendah dibandingkan dengan sinyal OFDMA. (Hyung G. Myung, 2009)

2.3.3. Guard Interval dan Cyclic Prefix (CP)

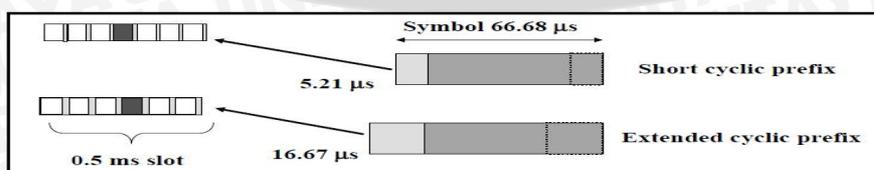
Setelah dilakukan pentransmision sinyal, setiap *subcarrier* harus dapat dipisahkan pada sisi *receiver*, tetapi pada kenyataannya proses ini tidak mudah karena propagasi gelombang di udara yang banyak menimbulkan masalah, seperti adanya pengaruh kanal *multipath* yang dapat menyebabkan terjadinya *inter-symbol interference* (ISI). Oleh karena itu, pada setiap simbol SC-FDMA ditambahkan CP untuk menghindari terjadinya ISI. CP diperoleh dari menyalin bagian akhir dari tiap simbol dan kemudian akan diletakkan pada bagian awal simbol. CP bertindak sebagai *guard interval* diantara simbol yang berdekatan, apabila panjang dari *guard interval* yang dialokasikan lebih besar daripada maksimum *delay spread* pada kanal ($T_{cp} \geq \tau_{max}$), maka tidak akan terjadi ISI. Maksimum delay spread didapat dari selisih *delay* antara panjang sinyal *path* yang terpanjang dan terpendek. (Harri Holma, 2007)



Gambar 2.13 Penggunaan *Cyclic Prefix* untuk Menghindari Terjadinya *Inter-Symbol Interference* (ISI) (Sumber: Harri Holma, 2007)

CP yang digunakan pada kanal *uplink* mempunyai dua kemungkinan nilai, tergantung apakah *short* (normal) *cyclic prefix* atau *extended cyclic prefix* yang akan diaplikasikan, sehingga total durasi simbol SC-FDMA setelah penambahan CP adalah:

$$T_s = T_{sub} + T_{cp} \tag{2.1}$$



Gambar 2.14 Short dan Extended *Cyclic Prefix* (Sumber: Harri Holma, 2009)

Sehingga total *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* yang digunakan, setelah penambahan CP digambarkan pada persamaan 2.2:

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2.(1-\alpha_{CP})+N-1]}{(1-\alpha_{CP}).N.Log_2(M)} \quad (2.2)$$

Dengan:

B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)

T_s = durasi simbol SC-FDMA (s)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s) disebut juga “*useful symbol length*”

T_{cp} = durasi *cyclic prefix* (s)

R_{tot} = laju *bit* total yang tersedia (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal

N = jumlah *subcarrier*

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

2.4 Desain *Physical Layer* pada Kanal *Uplink Long Term Evolution (LTE)*

Physical layer pada sistem radio akses memiliki peranan penting dalam menentukan kapasitas yang dihasilkan dan menjadi titik fokus ketika membandingkan sistem yang berbeda untuk performansi yang diharapkan. Sistem yang kompetitif membutuhkan *layer* protokol yang efisien untuk memastikan performansi yang baik pada *layer* aplikasi maupun pada *end user*. (Harri Holma, 2009)

2.4.1 Teknik Modulasi

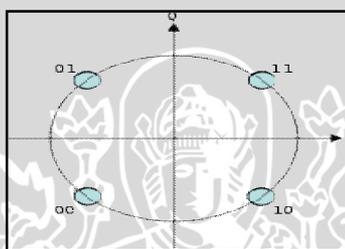
Pada arah *uplink*, metode modulasi yang yang dapat tersedia (untuk data *user*) adalah *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*, *16-level Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)* dan *64-level Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM)*. QPSK memungkinkan efisiensi daya *transmitter* lebih baik ketika beroperasi pada daya transmisi penuh jika dibandingkan dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM.

Pada teorinya, sistem SC-FDMA dapat menggunakan modulasi yang berbeda pada tiap-tiap *subcarrier*. Penggunaan metode modulasi pada LTE bervariasi tergantung pada tujuan transmisi simbol untuk kontrol informasi *physical layer* atau untuk *layer* data yang lebih tinggi, atau dengan kata lain apakah tujuannya untuk *user* data atau kontrol *signaling*. (Harri Holma, 2009)

Pada sub pembahasan ini akan menjelaskan lebih detail tentang modulator yang bertugas mengkodekan informasi dari sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena pada sistem ini informasinya berupa data digital, maka digunakan modulator *baseband* digital yang memodulasikan M -bit menjadi satu simbol yang disebut juga dengan modulasi M -ary. (Fuqin Xiong. 2006)

2.4.1.1 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK dikenal juga dengan *quaternary* atau *quadriphase* PSK atau 4 PSK. QPSK merupakan modulasi PSK dengan perbedaan fasa untuk masing-masing simbol sebesar 90 derajat. QPSK menggunakan 4 titik diagram *konstelasi* dengan mengirimkan 2 bit untuk setiap simbol (00, 01, 10, 11). Dalam QPSK ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda pula.

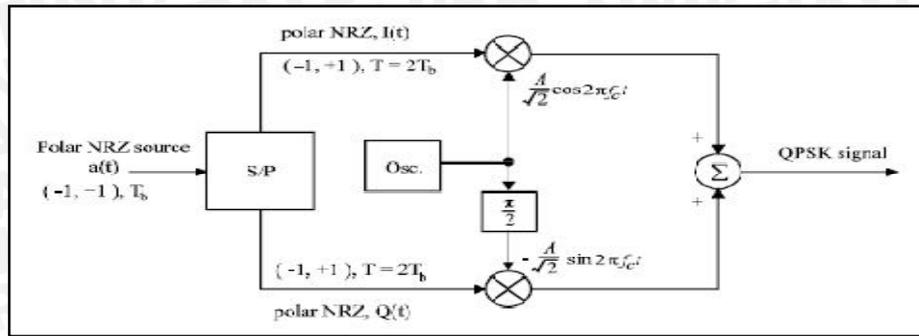


Gambar 2.15 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK
(Sumber: Fuqin Xiong. 2006)

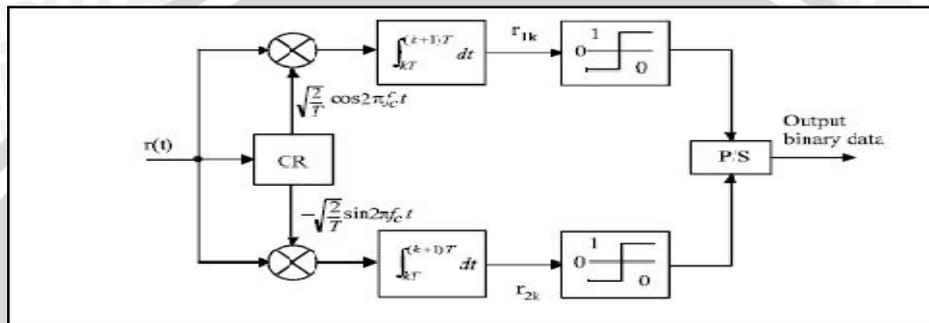
Dalam proses modulasinya, saluran dengan referensi kosinus disebut saluran *inphase* (I) dan saluran dengan referensi sinus disebut saluran *quadrature* (Q). Urutan data dipisahkan oleh *converter serial-to-parallel* (S/P) untuk membentuk urutan *bit* ganjil yang berada pada saluran-I dan urutan *bit* genap untuk saluran Q. Kemudian logika 1 dikonversi menjadi sebuah pulsa positif dan logika 0 dikonversi ke pulsa negatif, keduanya memiliki amplitudo yang sama dan durasi T. Selanjutnya *bit* ganjil bernomor urut dikalikan dengan $\cos 2\pi f_c t$ dan urutan *bit* genap dikalikan dengan $\sin 2\pi f_c t$. Akhirnya hasil penjumlahan dua bentuk gelombang ini menghasilkan sinyal QPSK.

Dalam proses demodulasinya, hasil akhir dari *demodulator* hanya output *multiplexing* saluran I dan saluran Q. Jadi kesalahan *bit rate* untuk hasil akhir adalah sama untuk setiap saluran. Simbol A merupakan dua *bit* dari masing-masing saluran I dan saluran Q. Simbol kesalahan terjadi jika salah satu dari kedua *bit* mengalami kesalahan. (Fuqin Xiong. 2006)

$$\text{QPSK Signal} = Aa(t) \cos 2\pi f_c t, \quad -\infty < t < \infty \quad (2.3)$$



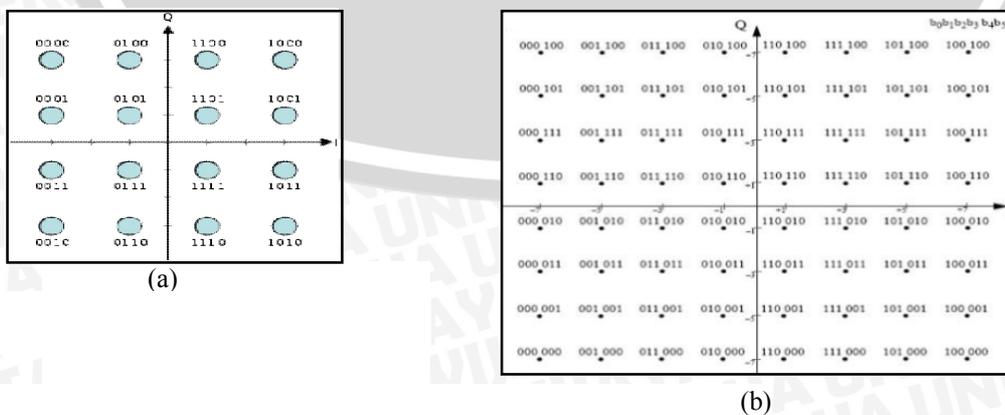
Gambar 2.16 (a) QPSK Modulator
(Sumber: Fuqin Xiong, 2006)



Gambar 2.16 (b) QPSK Demodulator
(Sumber: Fuqin Xiong, 2006)

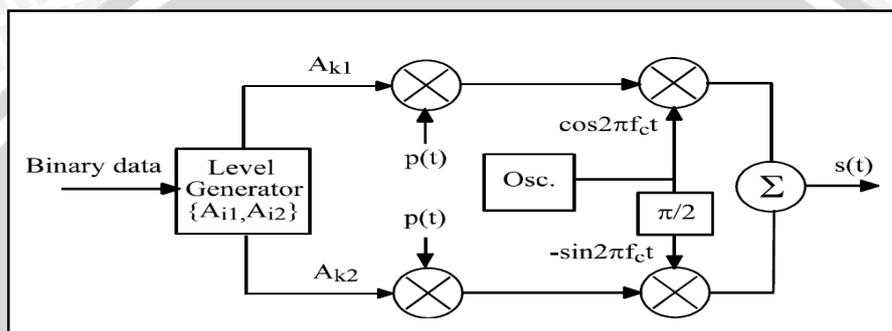
2.4.1.2 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

QAM merupakan teknik modulasi yang perpaduan antara ASK dan PSK. Pada QAM, amplitudo dan fase sinyal *carrier* akan berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi, yang mengakibatkan sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran fase. Modulasi QAM membawa data dengan merubah parameter dari sinyal *carrier* untuk merespon sinyal. Dalam hal ini, amplitudo dua sinyal *carrier* QAM yang berbeda fase 90 derajat antara satu dengan lainnya dirubah untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan. Jenis modulasi QAM yang digunakan dalam teknologi LTE adalah 16-QAM dan 64-QAM.

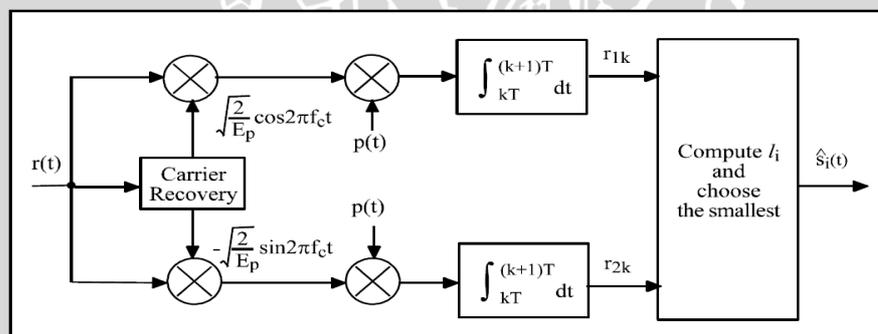


Gambar 2.17 (a) Diagram Konstelasi 16 QAM; (b) Diagram Konstelasi 64 QAM
(Sumber: Fuqin Xiong, 2006)

Dalam sebuah sinyal QAM, terdapat dua operator, masing-masing memiliki frekuensi yang sama tetapi berbeda dalam tahap 90 derajat atau satu seperempat dari sebuah siklus, dari hal tersebut maka timbul istilah *quadrature*. Satu sinyal disebut sinyal I, dan sinyal yang lain dinamakan sinyal T. Salah satu sinyal dapat diwakili oleh sebuah gelombang sinus, dan sinyal lainnya dengan gelombang kosinus. Kedua sinyal tersebut digabungkan pada sumber untuk transmisi. Di tempat tujuan, sinyal informasi dan pembawa dipisahkan, sinyal informasi diambil dari masing-masing sinyal pembawa, dan kemudian digabungkan menjadi satu sinyal. (Fuqin Xiong, 2006)



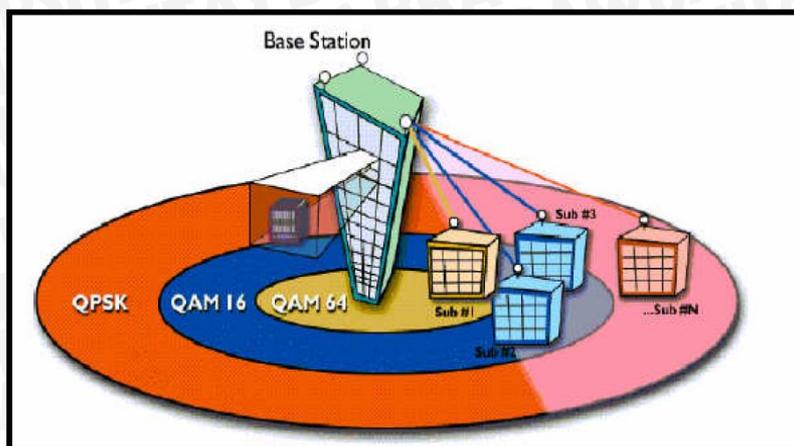
Gambar 2.18. (a) QAM Modulator
(Sumber: Fuqin Xiong, 2006)



Gambar 2.18 (b) QAM Demodulator
(Sumber: Fuqin Xiong, 2006)

2.4.2 Modulasi Adaptif

Modulasi adaptif, secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*) atau biasanya dapat diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Apabila kualitas sinyal cukup baik, maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar. Apabila kualitas *link* menurun, sistem modulasinya digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kestabilan dan kualitas sambungan. Perpindahan modulasi dapat diatur secara otomatis dan dinamis dari 64-QAM, 16-QAM, dan QPSK.

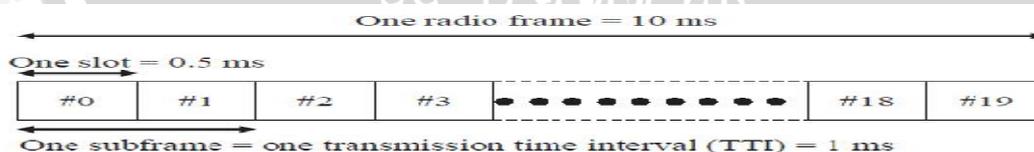


Gambar 2.19 Hubungan Radius Jangkauan dengan Sistem Modulasi.
(Sumber: <http://en.wikipedia.org>)

Semakin jauh jarak yang akan ditempuh maka redaman akan semakin besar dan ini akan menyebabkan laju *bit* akan semakin rendah. Gambar 2.19 memperlihatkan hubungan antara radius jangkauan dengan sistem modulasi yang digunakan. (Amitabh kumar, 2008)

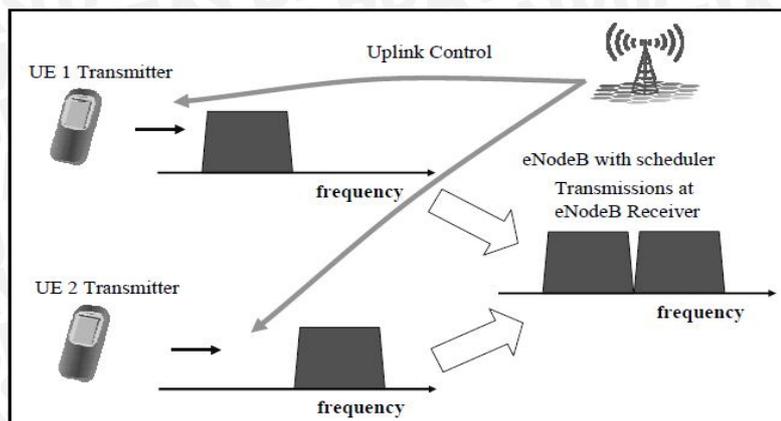
2.4.3 Transmisi Data pada Kanal *Uplink*

Transmisi data pada arah *uplink* dikirim dalam struktur *frame*, dimana durasi adalah 10 ms *perframe* yang berdasarkan alokasi *resource* pada domain waktu maupun frekuensi, durasi setiap *subframe* 1 ms pada dan resolusi *bandwidth* 180 KHz. Struktur *frame* pada setiap periode alokasi terdiri atas 20 *slot* dengan periode *slot* 0.5 ms. Tiap *subframe* terdiri atas 2 *slot* periode. Struktur *frame* 10ms pada dasarnya berlaku pada mode transmisi FDD dan TDD. Tetapi pada pembahasan skripsi, metode transmisi yang digunakan adalah metode FDD.



Gambar 2.20 Struktur Frame LTE
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

Alokasi *resource* berasal dari *scheduler* yang terletak pada eNode-B, sehingga tidak ada *fixed resource* pada perangkat dan mungkin digunakan *resource* random akses sebelum *signaling* dari eNode-B. Untuk tujuan ini perangkat perlu untuk menyediakan informasi kepada *uplink scheduler* sebagai persyaratan transmisi (status *buffer*) dan menyediakan daya untuk pentransmisi. (Harri Holma, 2009)



Gambar 2.21 Alokasi *Resource* Pada Arah *Uplink* yang Dikontrol oleh *eNode-B Scheduler*
(Sumber: Harri Holma, 2009)

Tabel 2.2 berikut menjelaskan simbol-simbol yang biasa digunakan *physical layer* pada kanal *uplink*.

Tabel 2.2 Simbol-Simbol pada Kanal *Uplink* LTE

Simbol	Deskripsi
T_s	Durasi periode clock LTE: $(1/30.72 \times 10^6)$ second
T_f	Durasi radio frame per <i>slot</i> : 0.5 ms
N_{symbol}^{UL}	Jumlah simbol SC-FDMA per <i>resource block</i>
N_{SC}^{RB}	Jumlah <i>subcarrier</i> per <i>resource block</i> : 12 <i>subcarrier</i>
N_{RB}^{UL}	Jumlah <i>resource block</i> pada kanal <i>uplink</i>
M	Jumlah <i>subcarrier</i> pada <i>guard band</i> area, juga merupakan ukuran IDFT pada <i>transmitter</i> dan DFT pada <i>receiver</i>

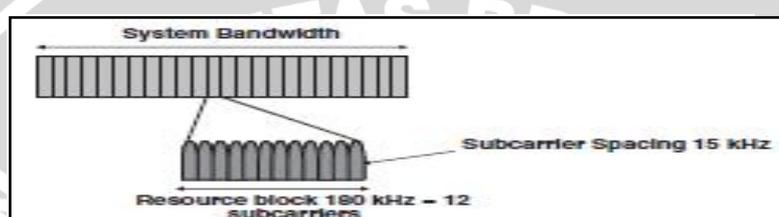
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

Pada sisi *uplink* LTE *release 8* tidak ada transmisi *multi-antenna* yang diaplikasikan, hal ini dikarenakan menggunakan lebih dari satu cabang *transmitter* pada UE akan menambah biaya dan kompleksitas yang tinggi. *Data rate* pada UE tergantung pada *uplink* LTE, antara lain: (Harri Holma, 2009)

- Metode modulasi yang diaplikasikan, dengan 2, 4, ataupun 6 *bit* per simbol modulasi tergantung pada perintah modulasi QPSK, 16QAM dan 64QAM.
- *Bandwidth* yang diaplikasikan (berkisar antara 1.4 MHz–20 MHz) hal ini akan berpengaruh terhadap jumlah *subcarrier* yang digunakan dan jumlah *resource blok* yang dialokasikan.
- Laju kanal *coding* yang diaplikasikan.
- *Cyclic prefix* yang digunakan, apakah *normal CP* atau *extended CP*.

2.4.4 Resource Block

Simbol-simbol SC-FDMA mempunyai jumlah *subcarrier* yang berbeda tergantung pada alokasi *bandwidth* yang digunakan, termasuk diantaranya adalah 1.4MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. Setiap satu alokasi *resource* biasa disebut “*resource block*” mempunyai durasi 0.5 ms untuk satu *slot*, dan *bandwidth* 180 KHz yang berarti ada 12 *subcarrier*, dan masing-masing jarak antar *subcarrier* 15 KHz. Salah satu *subcarrier* pada simbol membawa data referensi (*pilot symbol*) untuk memberikan estimasi kanal yang cocok pada *receiver*, yang digunakan untuk menempatkan aliran data ke eNode-B. (Harri Holma, 2007)

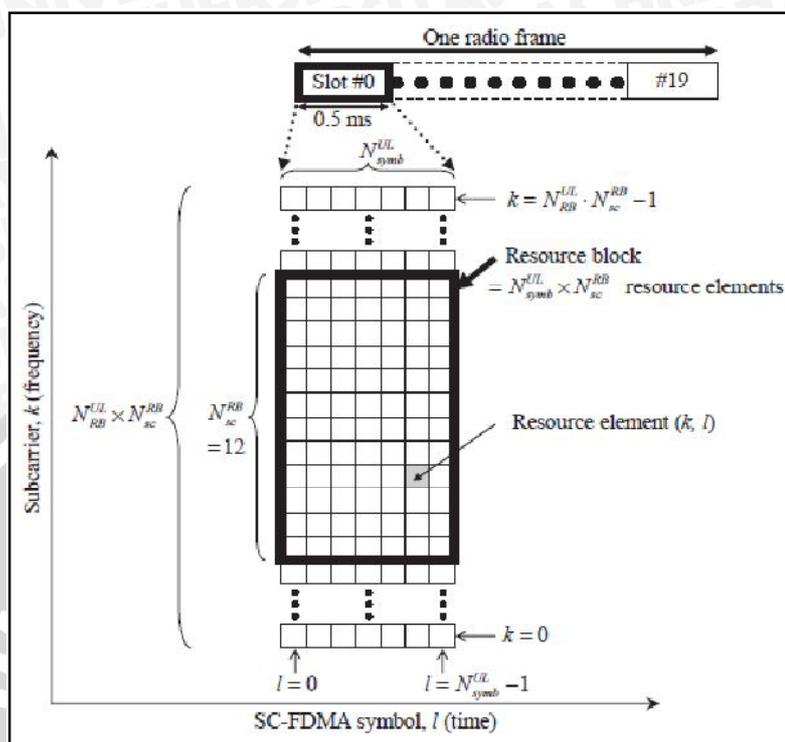


Gambar 2.22 Resource Block
(Sumber: Harri Holma, 2007)

Bandwidth pada *physical layer* adalah kelipatan dari 180 KHz dan pada *physical layer* kanal *uplink* menggunakan *scheduling Localized-FDMA* (LFDMA). *Resource block* dalam sistem *bandwidth* yang tersedia disebut *resource grid*. Jumlah blok pada *resource grid* berkisar antara 6 blok (untuk saluran 1.4 MHz) sampai 100 blok (untuk saluran 20 MHz). Dalam domain waktu, setiap slot *uplink* membawa enam atau tujuh simbol SC-FDMA, tergantung CP yang digunakan. Satu simbol SC-FDMA terdiri atas *output kompleks* dari satu *Invers Discrete Fourier Transform* (IDFT) dan *cyclic prefix*. Pada *Physical Uplink Shared Channel* (PUSCH), demodulasi sinyal referensi muncul dalam elemen *resource* keempat setiap *subcarrier* yang ditransmisikan dengan *resource block*. Dalam *Physical Uplink Control Channel* (PUCCH), demodulasi sinyal referensi dapat muncul pada elemen *resource* yang berbeda tergantung format PUCCH.

LTE menggunakan slot dengan 6 simbol pada *cell* yang besar, mengakibatkan ISI yang besar dikarenakan *multipath delay spread* yang panjang, memerlukan *long cyclic prefix* atau biasa disebut *extended cyclic prefix*, sedangkan LTE yang menggunakan slot dengan 7 simbol pada *cell* yang lebih kecil cukup dengan *normal cyclic prefix*. LTE mengacu pada bilangan kompleks yang dihasilkan oleh IDFT dan bilangan kompleks pada *cyclic prefix* sebagai sampel. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.23 setiap entri *resource grid* disebut sebagai *resource elemen*, dilambangkan

dengan pasangan indeks (k,l) dimana k dan l adalah indeks pada frekuensi dan domain waktu.



Gambar 2.23 Resource Mapping pada SC-FDMA
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

Tabel 2.3 Karakteristik Resource Block pada Kanal Bandwidth yang Berbeda

	1.4 MHz	3.0 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Subframe (TTI) (ms)				1		
Number of Resource Block	6	15	25	50	75	100
Number of Subcarrier	72	180	300	600	900	1200
IDFT (Tx)/DFT (Rx) size	128	256	512	1024	1536	2048
Sampling rate (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Sampling per slot	960	1920	3840	7680	11520	15360
Symbol per resource block	7 simbol untuk normal CP dan 6 simbol untuk long CP					
Reference symbol	Simbol ke-4 untuk normal CP dan ke-6 untuk long CP					
Cyclic Prefix	5.20 μ s untuk normal CP dan 16.67 μ s untuk long CP					

(Sumber: Harri Holma, 2007)

Catatan untuk Tabel 2.3, pada transmitter, ukuran IDFT untuk setiap saluran bandwidth adalah lebih besar dari jumlah subcarrier yang dimodulasi. Subcarrier pada IDFT mempunyai zero magnitude dan merupakan guard band pada frekuensi domain untuk mencegah frekuensi offset. (Hyung G. Myung, 2009)

Gambar 2.24 menunjukkan total bandwidth yang dapat ditempati oleh sinyal yang ditransmisikan oleh suatu terminal. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka besarnya bandwidth_{Config} dinyatakan dalam persamaan (Hyung G. Myung, 2009):

$$B_{config} = N_{SC}^{RB} \times N_{RB}^{UL} \times B_{SC} \text{ (Hz)} \quad (2.4)$$

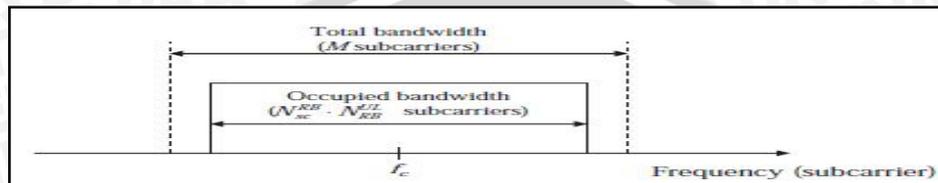
Dengan,

B_{config} = bandwidth configure (Hz)

N_{SC}^{RB} = jumlah *subcarrier* pada *resource block*: 12

N_{RB}^{UL} = jumlah *resource block* pada kanal *uplink*

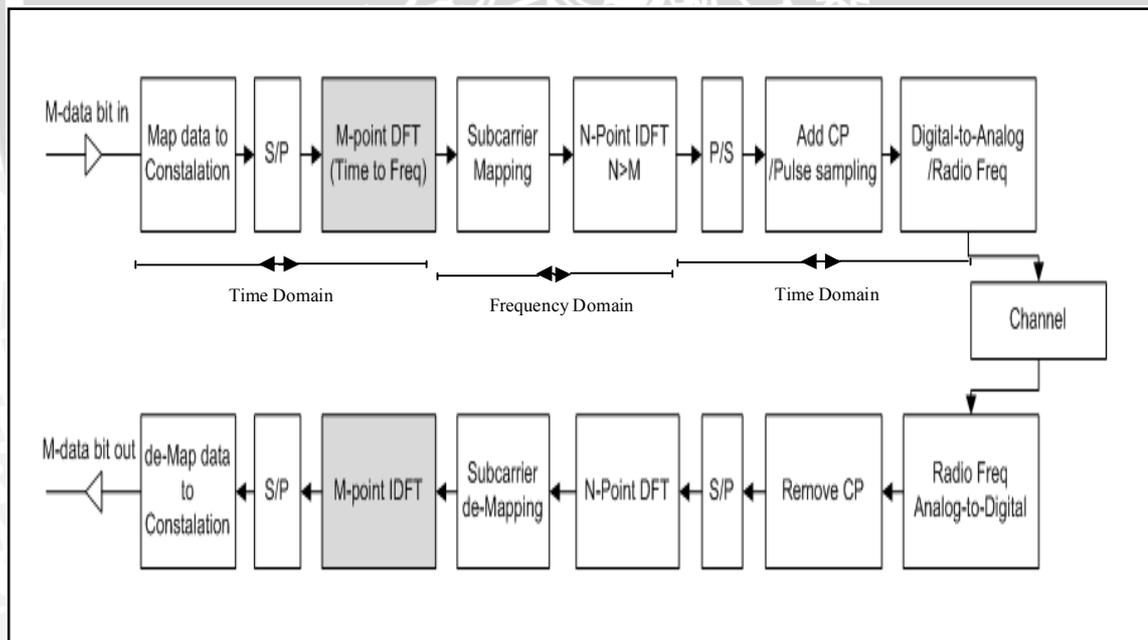
B_{SC} = *bandwidth occupied* pada tiap *subcarrier*: 15 KHz



Gambar 2.24 Bandwidth Configure
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

2.5 SC-FDMA Signal Processing

Gambar 2.25 menunjukkan bagaimana *transmitter* SC-FDMA mengirimkan satu blok data ke *receiver*.

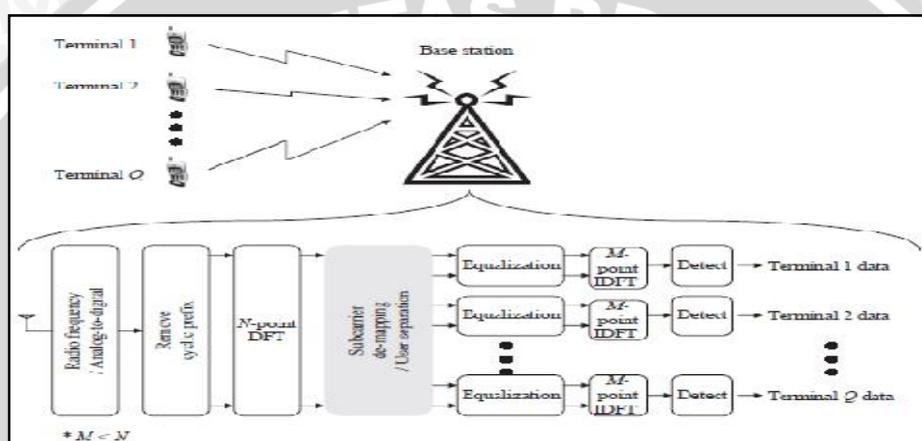


Gambar 2.25 Struktur *Transmitter* dan *Receiver* pada SC-FDMA
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

Pada data blok DFT terdiri dari *M-complex modulation symbol* dalam domain waktu di konvesi ke dalam domain frekuensi. *Subcarrier mapping* pada sisi *transmitter* menempatkan modulasi simbol domain frekuensi pada *subcarrier*, proses *mapping* biasa

disebut *scheduling*. Blok IDFT menghasilkan representasi sinyal domain waktu pada N -*subcarrier* simbol.

Blok DFT pada sisi *receiver* mentransformasikan sinyal yang diperoleh ke domain frekuensi untuk mengembalikan kondisi awal N -*subcarrier*. Operasi *de-mapping* memisahkan sampling dari M -*domain* frekuensi pada masing-masing sinyal informasi. IDFT mentransformasikan simbol kembali ke domain waktu, dimana *detector* nantinya akan M -modulasi simbol yang berurutan. Sebelum sistem melakukan proses demodulasi pada *receiver* SC-FDMA, eNode-B membagi user pada domain frekuensi pada saat proses *de-mapping subcarrier*. (Hyung G. Myung, 2009)



Gambar 2.26 Struktur Receiver SC-FDMA dengan terminal-Q pada sisi *Uplink* (Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

2.5.1 Mapping Data to Constellation

Mapping data-to-constellation, pada sistem SC-FDMA disebut juga teknik modulasi. Untuk arah *uplink* terdapat tiga metode modulasi yang tersedia, yaitu: *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-level Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM) dan *64-level Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM). Pada tiap-tiap *subcarrier* dapat menggunakan modulasi yang berbeda-beda, sistem mengadopsi teknik modulasi untuk kualitas kanal, disebut juga modulasi adaptif. Pada dasarnya sistem menggunakan QPSK pada kanal yang lemah sampai 64-QAM pada kanal yang kuat.

QPSK menggunakan 4 titik diagram konstelasi, dengan mengirim 2 bit tiap symbol (00, 01, 10, 11). Teknik modulasi 16-QAM menggunakan 16 titik diagram konstelasi, dengan mengirim 4 bit tiap simbol (0000, 0001, 0010, dst). Sedangkan teknik modulasi 64-QAM menggunakan 64 titik diagram konstelasi dengan mengirim 6 bit tiap simbol (000000, 000001, 000010, 000011, dst). Penjelasan mengenai teknik modulasi telah dijelaskan pada Sub-Bab sebelumnya.

2.5.2 Konversi *Serial to Paralel* (S/P)

Data yang akan dipancarkan umumnya dalam bentuk aliran data serial. Pada SC-FDMA, proses konversi serial ke paralel dibutuhkan untuk mengubah aliran *bit* data serial ke dalam data-data yang akan dipancarkan dalam setiap simbol SC-FDMA. Data yang dialokasikan untuk setiap simbol tergantung pada teknik modulasi yang digunakan dan jumlah *subcarrier*. Hasil dari proses konversi serial ke paralel merupakan proses pengisian *payload* data untuk setiap *subcarrier*. Pada *receiver* terjadi proses yang berkebalikan, dimana data dari *subcarrier* (data paralel) diubah kembali ke dalam aliran data serial aslinya. Proses yang terjadi pada *receiver* ini disebut juga dengan proses konversi paralel ke serial.

2.5.3 *Digital Fourier Transform* (DFT) dan *Invers Digital Fourier Transform* (IDFT)

Pada prakteknya implementasi sistem SC-FDMA didasarkan pada teknologi digital dengan penggunaan *Digital Fourier Transform* (DFT) dan *Invers Digital Fourier Transform* (IDFT) ataupun *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT). Hanya saja perbedaan penggunaan DFT dan FFT adalah pada jumlah *subcarrier* banyak, maka penggunaan FFT akan jauh lebih efisien. Hal ini dikarenakan FFT dapat mengurangi waktu perhitungan (transformasi) pada jumlah "*n-point*" ratusan. Operasi DFT digunakan untuk mengubah representasi antar domain waktu ke domain frekuensi dan pada IDFT memiliki fungsi kebalikannya.

Sebelum sinyal transformasikan data blok terdiri dari *M-complex modulation symbol* yang dihasilkan oleh modulator. *M-point Discrete Fourier Transform* (DFT) menghasilkan *M-symbol* pada domain frekuensi. (www.wikipedia.org)

$$x_m \text{ (domain waktu)} \xrightarrow{\text{M-point DFT}} X_k \text{ (domain frekuensi)}$$

DFT dihitung menggunakan persamaan:

$$X_k = \sum_{m=0}^{M-1} x_m W_M^{km}, \text{ dimana } W_M = e^{-j\frac{2\pi}{M}} \quad (2.5)$$

Sehingga:

$$X_k = \sum_{m=0}^{M-1} x_m e^{-j2\pi\left(\frac{k}{M}\right)m} \quad (2.6)$$

Operasi IDFT digunakan untuk menghitung kembali representatif sinyal (Y_1) yang dihasilkan oleh *subcarrier mapping* dalam domain frekuensi ditransformasikan ke dalam domain waktu (Y_n). Pada sistem SC-FDMA *N-point* IDFT diperoleh dari jumlah

subcarrier yang dihasilkan *subcarrier mapping* (akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya).

$$Y_l \text{ (domain frekuensi)} \xrightarrow{N\text{-point IDFT}} Y_n \text{ (domain waktu)}$$

Dimana persyaratan untuk sistem ini adalah:

$$M < N \quad (2.7)$$

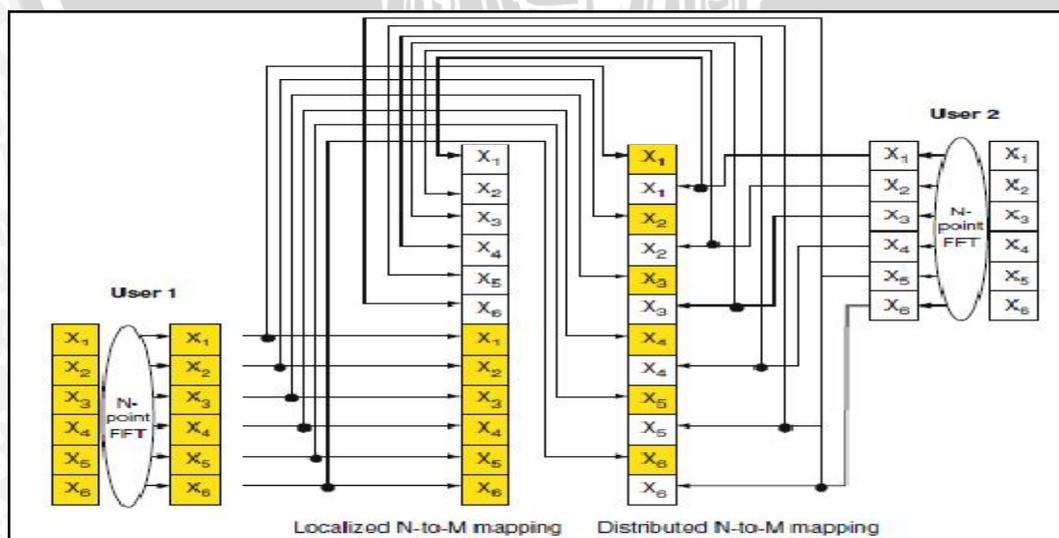
IDFT dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k e^{j2\pi(\frac{k}{M})m} \\ &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k W_M^{-km}, \text{ dimana } W_m = e^{-j\frac{2\pi}{M}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.5.4 Subcarrier Mapping

Metode yang digunakan untuk memetakan modulasi simbol (domain frekuensi) pada subcarrier yaitu *distributed subcarrier mapping (Distributed-FDMA/DFDMA)* dan *localized subcarrier mapping (Localized-FDMA/LFDMA)*. Pada mode *localized*, modulasi simbol dipindahkan ke *N-subcarrier* yang berdekatan. Pada mode *distributed*, simbol bersama-sama diberikan jarak di seluruh kanal *bandwidth*. Pada kedua mode, *transmitter* IDFT menempatkan *zero amplitude* pada *N-M* yang tidak ditempati *subcarrier*. (Hyung G. Myung, 2009)

Metode DFDMA dan LFDMA untuk $M=6$, *symbol/block*, $N=12$, *subcarrier*, $Q=2$ terminal, pada sebuah sistem SC-FDMA digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.27 Subcarrier Mapping untuk LFDMA dan DFDMA
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

2.5.5 *Cyclic Prefix (CP)*

Pada setiap simbol SC-FDMA yang akan ditransmisikan akan disisipkan satu set simbol yang disebut *cyclic prefix*, tujuannya untuk menyediakan *guard time* untuk menghindari ISI. Penjelasan mengenai teknik CP dan persyaratannya telah dijelaskan pada Sub-Bab sebelumnya.

2.6. Kanal Propagasi

Kanal merupakan media transmisi yang digunakan untuk menyalurkan informasi dari *transmitter* ke *receiver*. Karakteristik dari suatu kanal akan berpengaruh pada gangguan transmisi yang dihadapi oleh sinyal seluler. Dalam sistem *wireless*, kanal yang digunakan adalah kanal radio. Terdapat tiga kategori gangguan yang terjadi pada saat pengiriman data (informasi) ke suatu tujuan (pendengaran manusia, layar monitor, komputer). Gangguan tersebut adalah (Hyung G. Myung, 2009):

- Disebabkan karena fisik pada propagasi kanal radio dari *transmitter* ke *receiver*,
- Dikarenakan adanya sinyal lain pada penerima antenna,
- Dikarenakan peralatan pada *transmitter* dan *receiver*.

2.6.1 Fisik pada Radio Transmisi

a) **Atenuasi**

Radiasi energy yang dipancarkan oleh *antenna omnidirectional* mengisi seperti bola, dan sebagian kecil dari sinyal tersebut akan hilang diakibatkan adanya jarak yang semakin jauh yang harus ditempuh oleh suatu sinyal dan juga karena makin tingginya frekuensi sinyal tersebut.

b) ***Inter Symbol Interference (ISI)***

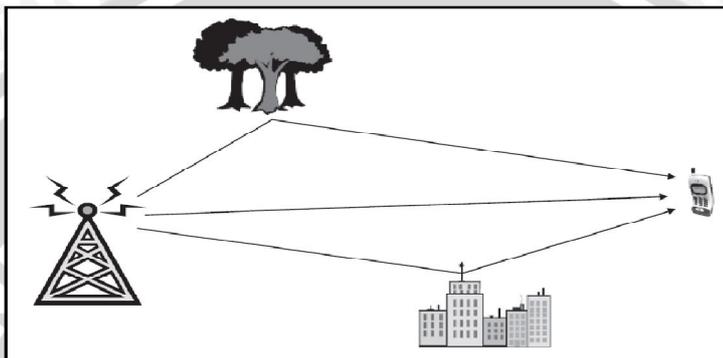
Propagasi *multipath* secara keseluruhan adalah fenomena yang terjadi pada transmisi sinyal seluler. Hal ini dikarenakan fitur dari lingkungan saat beroperasi, komponen dari sinyal yang ditransmisikan tiba di *receiver* setelah direfleksikan dari tanah dan berbagai fitur alami dan buatan manusia. Oleh karena itu, respon impuls saluran dapat dimodelkan sebagai set impuls yang tiba dengan *delay* yang relatif sebanding dengan panjang *path* dari komponen sinyal yang berbeda.

Pada *receiver*, sebuah sinyal direpresentasikan dengan simbol digital yang berdurasi T (second), mempunyai komponen kedatangan dengan interval yang lebih panjang. Hal ini dapat mengganggu sinyal yang direpresentasikan oleh simbol lain, efek

ini disebut *Inter Symbol Interference* (ISI) dan akan berdampak sistem transmisi dengan meningkatnya durasi respon input kanal.

Untuk menghindari terjadinya ISI pada setiap simbol SC-FDMA ditambahkan *Cyclic Prefix* (CP). CP bertindak sebagai *guard interval* diantara simbol yang berdekatan, apabila panjang dari *guard interval* (CP) yang dialokasikan lebih besar daripada maksimum *delay spread* pada kanal, maka tidak akan terjadi ISI.

$$\tau_{CP} > \tau_{Max\ Delay\ Spread} \quad (2.9)$$



Gambar 2.28 Propagasi *Multipath*
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

c) *Fading*

Fading merupakan fluktuasi amplitudo atau fasa sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal oleh *receiver* akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai di *receiver* tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran realtif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain. Hal ini akan mengakibatkan penguatan atau pelemahan sinyal yang diterima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di *receiver* akan mengalami fluktuasi. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*.

2.6.2 Efek Adanya Sinyal Lain pada Penerima Antena

a) *Adjacent Channel Interference*

Interferensi pada kanal yang berdekatan biasanya terjadi pada sistem seluler. Meskipun sinyal telah menempati nominal *bandwidth* ditetapkan pada frekuensi *carrier*

yang berbeda pada sinyal yang berbeda, sinyal tersebut memerlukan energi pada frekuensi *outside* dari nominal *bandwidth*.

b) Noise

Adjacent channel interference berdampak pada sinyal yang dihasilkan oleh sistem seluler, oleh karena itu seluruhnya dibawah kontrol *network operator* selular. Meskipun *network operator* mempunyai ijin untuk mengatur energi yang ditransmisikan pada masing-masing spektrum, masih ada radiasi energi pada *band* selulerdiluar kontrol *network operator*.

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Secara keseluruhan, noise yang terjadi adalah akibat aktivitas temperatur dari atmosfer. Noise pada atmosfer ini dimodelkan sebagai *white noise* dengan *power spectral density*. (Hyung G. Myung, 2009)

$$N_o = k \times T \text{ Joules} \quad (2.10)$$

2.6.3 Peralatan Transmitter dan Receiver

a) Noise

Noise thermal pada peralatan elektronik menambah daya *noise* atmosfer pada sisi *receiver*. Penambahan *noise* biasa direpresentasikan sebagai *noise receiver figure*.

b) Nonlinear Distortion

Ketidaklinieran daya amplifier pada *transmitter* adalah ketidaksempurnaan yang dipengaruhi oleh performansi teknik *frequency division*. Teknologi yang membutuhkan kelinieran daya *amplifier* yang tinggi membutuhkan biaya yang mahal dan mereka beroperasi pada efisiensi daya *amplifier* yang rendah. Pada sistem OFDMA, ketidaklinieran daya *amplifier* mengakibatkan seiring bertambahnya *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) pada sinyal yang dihasilkan.

c) Frequency Offset

Pada sistem komunikasi, pasti terjadi perbedaan frekuensi dan fasa di lokal osilator *transmitter* dan *receiver*. Teknik *frequency domain* khususnya, rentan terhadap *frequency offset* dikarenakan pada *receiver*, mereka merusak ke-*orthogonal*-an sinyal pada *separate sub-band*. Untuk meminimalisir adanya *frequency offset*, sistem OFDMA dan SC-FDMA menggunakan beberapa kanal *narrowband* sebagai “*pilot tones*” yang

mentransmisikan sinyal untuk membantu *receiver* menghasilkan frekuensi referensi untuk dicocokkan dengan *transmitter*.

2.7 Kanal AWGN

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim, satu-satunya melemahnya sinyal disebabkan adalah *noise* AWGN. Kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN dapat dijelaskan dalam Gambar 2.29.

Noise AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, memiliki sifat-sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. Besarnya daya *noise* AWGN dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Hyung G.Myung, 2009):

$$N_o = k \times T \times B \quad (2.11)$$

Dengan,

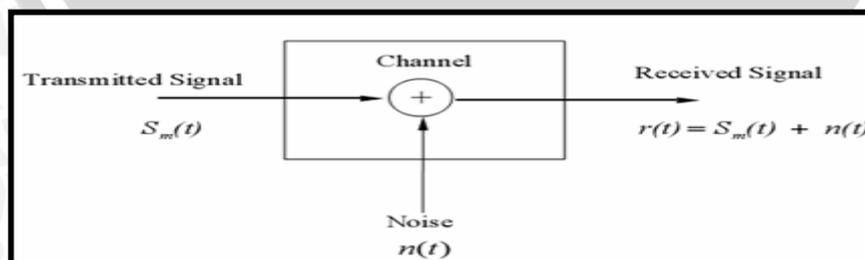
N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k = konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T = temperatur operasi sistem ($^{\circ}$ K)

B = *bandwidth* sistem (Hz)

Dari persamaan (2.11) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan telekomunikasi manapun akan selalu ada, selama terdapat *bandwidth* dan temperature perangkat telekomunikasi yang bekerja pada suhu di atas -273° K.



Gambar 2.29 Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)
(Sumber: Adit Kurniawan, 2005)

2.8 Kanal Rayleigh Fading

Pengertian dari kanal *rayleigh fading* yaitu kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering digunakan untuk menjelaskan bentuk selubung sinyal pada kanal *multipath* yaitu distribusi *Reyleigh* yang mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function*) sebagai berikut:

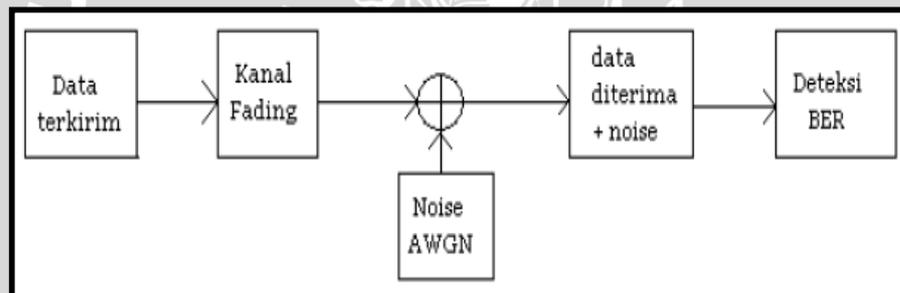
$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & , 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & , r \leq 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

Dengan,

σ = nilai rms level sinyal yang diterima sebelum detector

σ^2 = daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum datektor

Kanal *rayleigh fading* ditunjukkan dalam Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Kanal *Rayleigh fading*
(Sumber: Adit Kurniawan, 2005)

2.9 Model Propagasi

Berbagai macam karakteristik kanal yang telah dijelaskan sebelumnya dapat diestimsi dengan berbagai cara dan metode. Model propagasi adalah model estimasi karakteristik kanal. Model propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan *wireless*. Secara umum, model propagasi dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu:

- Model Empirik, model yang turunan dari hasil pengukuran lapangan dilokasi-lokasi yang dianggap mewakili sample lingkungan *wireless*.
- Model Deterministik, model yang dikembangkan dari teori propagasi gelombang elektromagnetik dan digunakan untuk perhitungan daya pancar di lokasi yang ditinjau.

- Model Stokastik, model yang menyertakan perubahan acar sebagai representasi kondisi lingkungan yang berubah dari waktu ke waktu dan dari lokasi ke lokasi lain.

Dari ketiga model propagasi di atas, model propagasi empirik merupakan model yang sangat diminati kalangan peneliti karena kemudahan dalam penggunaan serta toleransi terhadap ketidakterediaan informasi *terrain*. Yang termasuk dalam model propagasi empiric adalah model *Okumura-Hatta*, model *Walfisch-Ikegami*, model *Lee*, dan model *Longley-Rice*.

2.9.1 Propagasi *Outdoor* dan *Indoor*

a) Propagasi *Outdoor*

Cakupan area untuk propagasi *outdoor* sangat luas dan memiliki tingkat interferensi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena propagasi gelombang pada ruang terbuka akan melewati penghalang yang lebih banyak, seperti gedung, rumah, pepohonan, gunung, bukit dan sebagainya, serta terpengaruh oleh cuaca.

b) Propagasi *Indoor*

Propagasi dalam ruangan (*indoor*) memiliki mekanisme yang sama seperti pada propagasi *outdoor*, yaitu pantulan, difraksi, dan hamburan, tetapi kondisinya bervariasi. Yang membedakan model propagasi *indoor* dengan model propagasi komunikasi bergerak biasa yaitu cakupan daerahnya dan variasi lingkungan yang lebih besar seiring dengan makin kecilnya jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Propagasi *indoor* sangat dipengaruhi oleh hal-hal spesifik pada bangunan, seperti konstruksi material dan tipe bangunan.

2.9.2 Karakteristik Model Propagasi *Okumura-Hatta*

Pada propagasi, jarak antara *transmitter* dan *receiver* dapat bervariasi dari LOS (*Line of Sight*) hingga tertutup oleh penghalang seperti bangunan, bukit, dan pepohonan. Saat pentransmisian, gelombang radio merambat melalui media udara dan mengalami berbagai proses pemantulan, difraksi, refraksi dan *scattering*. Hal ini disebabkan propagasi NLOS. Kontur daerah yang akan dilewati gelombang radio akan sangat mempengaruhi perhitungan rugi-rugi propagasi. Area untuk propagasi pada model propagasi *Okumura-Hatta* dibagi menjadi tiga area, yaitu:

a) Daerah urban

Ciri-ciri daerah urban diantaranya yaitu:

- Gedung-gedung yang terdapat di daerah tersebut berkerangka logam dan memiliki beton yang tebal, sehingga membatasi propagasi radio melalui gedung.
- Memiliki gedung-gedung tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya difraksi pada propagasi sinyal sangat kecil.
- Sinyal radio dalam perambatannya mengalami pantulan dengan redaman tertentu.
- Memiliki sangat sedikit pepohonan, sehingga redaman akibat pepohonan (foliage loss) dapat diabaikan.
- Banyak terdapat kendaraan yang bergerak, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik kanal secara kontinyu.

b) Daerah sub-urban

Ciri-ciri daerah sub – urban antara lain yaitu:

- Memiliki tingkat halangan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah urban, sehingga propagasi sinyal radio relatif lebih baik dan rata-rata kuat sinyal tinggi.
- Kecepatan pergerakan kendaraan lebih tinggi dibanding daerah urban.
- Memiliki gedung-gedung yang relatif rendah, sehingga sinyal radio mengalami difraksi oleh puncak gedung.

c) Daerah rural

Ciri-ciri daerah rural antara lain yaitu:

- Memiliki ruas jalan yang lebar.
- Jarang terdapat halangan, sehingga kuat sinyal yang diterima akan lebih besar dibanding daerah urban atau sub – urban.
- Kecepatan pergerakan kendaraan sangat tinggi.

Model propagasi *Okumura-Hatta* berlaku untuk sistem dengan range frekuensi *carrier* antara 1500-2600 MHz, tinggi antena *Base Station* 30-200 meter, tinggi antenna UE 1-20 m dan jarak keduanya antara 1-20 kilometer. Selain area propagasi yang telah dijelaskan di atas, model propagasi ini juga berlaku untuk model *terrain* yang biasa biasa dijumpai di USA. Meskipun demikian, tipe-tipe *terrain* (USA) juga dapat dijumpai di berbagai belahan dunia.

2.10 Performansi Sistem SC-FDMA

2.10.1 Peak Bit Rates

Target untuk LTE *release* 8 pada transmisi *uplink* mampu mengirimkan data dengan kecepatan 86 Mbps (menggunakan 64-QAM). Besarnya laju data tergantung pada teknik modulasi yang digunakan, untuk teknik modulasi QPSK membawa 2 *bit/symbol*, untuk teknik modulasi 16-QAM membawa 4 *bit/symbol*, sedangkan untuk teknik modulasi 64-QAM membawa 6 *bit/symbol*. Untuk menghitung besarnya *peak bit rate*, dinyatakan dengan persamaan (Harri Holma, 2007):

$$\text{Peak bit rates} = \frac{\text{bit per symbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah simbol persubframe}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \alpha_{CP}) \text{Kbps} \quad (2.13)$$

Dengan,

N = jumlah *subcarrier*

α_{CP} = faktor *cyclic prefix*

2.10.2 Rugi-Rugi Propagasi *Non-Line of Sight* (NLOS)

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara *transmitter* dan *receiver* akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh *receiver* semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisian sinyal dari *transmitter* ke *receiver* maupun sebaliknya, baik pada kondisi *line of sight* (LOS) maupun *non-line of sight* (NLOS). Sistem komunikasi LTE bekerja pada kondisi NLOS, yang berarti terdapat penghalang sinyal antara *transmitter* dan *receiver* seperti rumah, pohon-pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari *transmitter* ke *receiver*. Propagasi NLOS sering disebut propagasi *multipath*.

Besarnya rugi-rugi propagasi NLOS atau biasa disebut *pathloss* (PL) pada saluran LTE dapat ditentukan dengan persamaan (<http://www.ieee802.org>):

$$PL = A + 10 \cdot \gamma \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (2.14)$$

Dengan,

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

A = *pathloss* referensi (dB)

γ = eksponen *pathloss*

d = jarak *transmitter* ke *receiver* (m)

d_0 = jarak referensi *pathloss* (100 m)

s = efek *shadow* (dB)

A_{PL_f} = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan

A_{PL_h} = faktor koreksi terhadap tinggi antenna *receiver*

Dengan *pathloss* referensi (A) dirumuskan sebagai berikut:

$$A = 20 \text{ Log}_{10} \left(\frac{4\pi c d_0}{f} \right) \quad (2.15)$$

Dengan,

A = *pathloss* referensi (dB)

f = frekuensi operasi (Hz)

d_0 = jarak referensi *pathloss* (100 m)

c = kecepatan gelombang radio di udara (m/s)

Dengan eksponen *pathloss* (γ) dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (2.16)$$

Dengan,

γ = eksponen *pathloss*

a, b, c = konstanta yang tergantung pada tipe *terrain*

h_b = tinggi antenna *Base Station* (m)

Besarnya Nilai a , b , c dan s adalah konstanta berdasarkan daerah yang akan dilayani, yaitu berdasarkan tipe daerah/ bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a , b , c dan s dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Parameter untuk Tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Type A	Type B	Type C
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20
Efek shadow (s)	10.6	9.6	8.2

(Sumber: http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf)

Keterangan :

Terrain Type A

- Daerah banyak gedung bertingkat/pepohonan maupun berbukit,
- Banyak penghalang sinyal,

Terrain Type B

- Daerah dengan gedung bertingkat/pepohonan cukup banyak, umumnya kota berkembang,
- Sedikit penghalang sinyal,

Terrain Type C

- Daerah dengan gedung bertingkat/pepohonan sedikit,
- Jarang atau tidak ada penghalang sinyal.

Untuk faktor koreksi frekuensi LTE dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\Delta PL_f = 6 \text{ Log}_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (2.17)$$

Dengan,

f = frekuensi operasi sistem (Hz)

Sedangkan untuk faktor koreksi tinggi antena *subscriber station* pada LTE dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta PL_h &= -10.8 \text{ Log}_{10} \left(\frac{h_{UE}}{2} \right), \text{ Untuk tipe } terrain \text{ A dan B} \\ \Delta PL_h &= -20 \text{ Log}_{10} \left(\frac{h_{UE}}{2} \right), \text{ Untuk tipe } terrain \text{ C} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dengan,

h = tinggi antena *User Equipment* (m)

2.10.3 Signal to Noise Ratio (SNR)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan noise (SNR) yang dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999):

$$SNR_{(dB)} = P_r (dBm) - N_0 (dBm) \quad (2.19)$$

Dengan,

SNR = signal to noise ratio (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_0 = daya noise saluran transmisi (dBm)

Daya yang diterima oleh *receiver* sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari *transmitter* ke *receiver*. Pada sistem komunikasi yang menggunakan SC-FDMA, daya yang diterima juga dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan. Sehingga daya yang diterima pada sistem *multicarrier* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_r = P_t + G_t + G_p - PL - 10 \cdot \text{Log}_{10}(N) \quad (2.20)$$

Dengan,

P_r = daya terima (dBm)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = gain antena pemancar (dBi)

- G_r = gain antenna penerima (dBi)
 PL = rugi-rugi propagasi (dB)
 N = jumlah *subcarrier* pada terminal UE

Sedangkan untuk perhitungan daya noise dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$N_0 = 10 \cdot \text{Log}_{10}(k \cdot T) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(B_{\text{sistem}}) + NF \quad (2.21)$$

Dengan,

- N_0 = daya *noise* saluran transmisi (dBm)
 k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
 T = suhu *absolute* (300° K)
 NF = *noise figure* (dB)
 B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan SC-FDMA diperoleh dari persamaan berikut (Shisuke Harra, 2003):

$$SNR_{\text{sistem}} = (1 - \alpha_{cp})SNR \quad (2.22)$$

Dengan,

- SNR_{sistem} = *signal to noise ratio* sistem (dB)
 SNR = *signal to noise ratio* (dB)
 α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

2.10.4 Kapasitas Kanal Sistem

Pada SC-FDMA, kapasitas Shannon adalah jumlah rata-rata maksimum *bit* per detik yang dapat dikirimkan secara akurat tanpa adanya kesalahan pada suatu media transmisi, digambarkan oleh persamaan (Hyung G. Myung, 2009):

$$C = W \cdot \text{log}_2(1 + SNR) \text{ b/s} \quad (2.23)$$

Dengan,

- C = kapasitas kanal (b/s)
 W = *bandwidth* yang terpakai pada transmisi sinyal (Hz)
 SNR = *Signal to Noise Ratio* pada kanal AWGN

Dengan menggunakan persamaan (2.1) untuk menghitung $Bandwidth_{\text{sistem}}$ dan persamaan (2.22) untuk menghitung SNR_{sistem} , maka besarnya kapasitas kanal, dapat diperoleh dari persamaan:

$$C_{SC-FDMA} = B_{\text{sistem}} \cdot \text{Log}_2(1 + SNR_{\text{sistem}}) \text{ (b/s)} \quad (2.24)$$

Dengan,

- $C_{SC-FDMA}$ = kapasitas kanal (b/s)
 B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)
 SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise Ratio* sistem (dB)

2.10.5 Energy Bit-to-Noise Ratio

E_b/N_0 adalah suatu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Dilihat dari namanya, E_b/N_0 dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* (disebut juga SNR per *bit*).

Perhitungan E_b/N_0 , terutama digunakan ketika akan menentukan performansi *Bit Error Rate* (BER) pada skema modulasi digital yang berbeda. Energi per *bit* dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan berikut (William Stallings, 2007):

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR_{sistem} - 10 \text{ Log } \frac{B}{R} \quad (2.25)$$

Dengan,

- $\frac{E_b}{N_0}$ = rasio energi *bit* terhadap *noise* (dB)
 SNR_{sistem} = *signal to noise ratio* sistem (dB)
 B = *bandwidth* sistem (Hz)
 R = laju data (bps)

2.10.6 Bit Error Rate (BER)

BER (*Bit Error Rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* error terhadap total *bit* yang diterima. Pada LTE, terdapat tiga macam teknik modulasi yang digunakan, diantaranya QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dijelaskan pada persamaan berikut (<http://www.eetimes.com/>):

a) QPSK

$$P_{b,QPSK} = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2.26)$$

Dengan,

$P_{b, \text{QPSK}}$ = BER pada saat transmisi menggunakan modulasi QPSK

$\frac{E_b}{N_0}$ = rasio energi *bit* terhadap noise (dB)

b) *M*-ary QAM

$$P_{b, M\text{-QAM}} = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} \times \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{(M-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2.27)$$

Dengan,

$P_{b, M\text{-ary-QAM}}$ = BER pada saat transmisi menggunakan modulasi *M*-ary QAM

$\frac{E_b}{N_0}$ = rasio energi *bit* terhadap noise (dB)

M = jumlah sinyal, untuk modulasi 16-QAM nilai $M = 2^4 = 16$
 untuk modulasi 64-QAM nilai $M = 2^6 = 64$

Nilai $\operatorname{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didefinisikan sebagai fungsi kesalahan dari variabel (x) dapat dinyatakan sebagai:

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \quad (2.28)$$

Dengan,

erfc = *error function complementary*

2.10.7 Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)

Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) adalah suatu performansi untuk menentukan indikasi efisiensi daya dari suatu transmitter. PAPR pada umumnya didefinisikan sebagai rasio perbandingan puncak daya sinyal pada waktu (t) dengan rata-rata daya sinyal keseluruhan. (Farooq Khan, 2009)

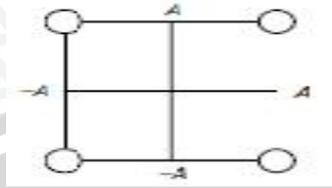
$$PAPR = \frac{\operatorname{Max} \|s(t)\|^2}{E\{|s(t)|^2\}} \quad (2.29)$$

Sinyal SC-FDMA dimappingkan melalui diagram konstelasi pada domain frekuensi menggunakan operasi IDFT dan menjadi sinyal dengan domain waktu. Meskipun *mapping* dari konstilasi bersifat deterministik, secara keseluruhan cukup sulit untuk menghitung nilai dari PAPR pada domain waktu, oleh karenanya sinyal dianalisis

pada set konstalasi yang diberikan. Besarnya PAPR SC-FDMA akan dijelaskan pada masing-masing teknik modulasi yang digunakan.

a) **QPSK**

Diagram konstalasi QPSK ditunjukkan pada Gambar 2.31 di bawah ini:



Gambar 2.31 Diagram Konstalasi QPSK
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

Dengan mengasumsikan rata-rata daya (*power*) untuk satu unit, komponen *real* dan *imaginer* dengan mengambil nilai amplitudo A dan $-A$. Dimana nilai A yang diberikan pada persamaan berikut (Farooq Khan, 2009):

$$\frac{4(A^2 + A^2)}{4} = 1$$

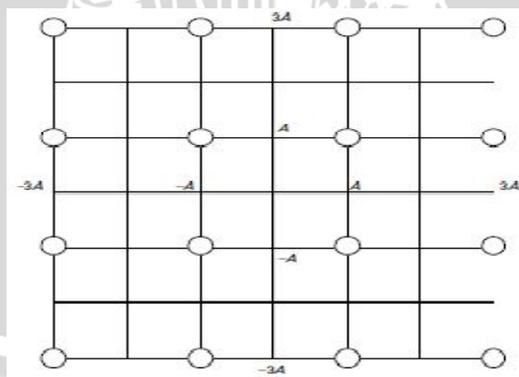
$$A = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.30)$$

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi QPSK dapat dihitung dengan persamaan:

$$PAPR_{QPSK} = \frac{(A^2 + A^2)}{1} \quad (2.31)$$

b) **16-QAM**

Diagram konstalasi 16-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.32 di bawah ini:



Gambar 2.32 Diagram Konstalasi 16-QAM
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

Dengan mengasumsikan rata-rata daya (*power*) untuk satu unit, komponen *real* dan *imaginer* dengan mengambil nilai amplitudo A , $3A$, $-A$ dan $-3A$. Dimana nilai A yang diberikan pada persamaan berikut (Farooq Khan, 2009):

$$\frac{4(A^2+A^2+A^2+9A^2+A^2+9A^2+9A^2+9A^2)}{16} = 1$$

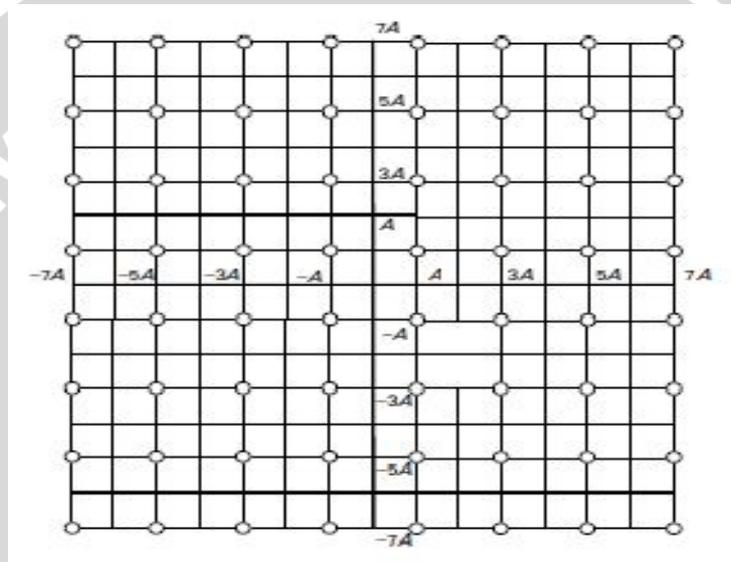
$$A = \frac{1}{\sqrt{10}} \quad (2.32)$$

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi 16-QAM dapat dihitung dengan persamaan:

$$PAPR_{16-QAM} = \frac{(9A^2+9A^2)}{1} \quad (2.33)$$

c) 64-QAM

Diagram konstelasi 64-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.33 di bawah ini:



Gambar 2.33 Diagram Konstelasi 64-QAM
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

Dengan mengasumsikan rata-rata daya (*power*) untuk satu unit, komponen *real* dan *imaginer* dengan mengambil nilai amplitudo A , $3A$, $5A$, $7A$, $-A$, $-3A$, $-5A$ dan $-7A$. Dimana nilai A yang diberikan pada persamaan berikut (Farooq Khan, 2009):

$$\frac{4(2A^2+2 \times 10A^2+18A^2+2+26A^2+2 \times 34A^2+3 \times 50A^2+2+58A^2+2 \times 74A^2+98A^2)}{64} = 1$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{42}} \quad (2.34)$$

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi 64-QAM dapat dihitung dengan persamaan:

$$PAPR_{64-QAM} = \frac{(49A^2+49A^2)}{1} \quad (2.35)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis terhadap performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada kanal *uplink Long Term Evolution* (LTE), yang mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu mengetahui pengaruh penerapan SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE. Parameter performansi yang dikaji meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER, dan PAPR. Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi:

1. Studi Literatur
2. Pengambilan Data
3. Perhitungan dan Analisa Data
4. Pengambilan Kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan SC-FDMA pada transmisi *uplink* LTE. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan pada skripsi ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai LTE dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Spesifikasi LTE berdasarkan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional melalui 3GPP *release* 8, meliputi parameter-parameter sebagai berikut :
 - a. *Peak bit rate* pada transmisi *uplink* LTE disesuaikan dengan jenis modulasi yang digunakan dan kanal *bandwidth* yang digunakan,
 - b. Teknik modulasi yang digunakan pada transmisi *uplink* LTE adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM,

- c. Kanal *Bandwidth* yang digunakan bervariasi antara lain 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. Hal ini nantinya akan berpengaruh terhadap jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal yang berbeda,
 - d. Durasi *cyclic prefix* yang digunakan untuk mencegah terjadinya *Intersymbol Interference* (ISI) adalah normal *cyclic prefix* $5.21 \mu\text{s}$,
 - e. Parameter yang akan dianalisis meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, SNR, BER, dan PAPR.
 - f. Model propagasi yang digunakan untuk uji performansi sistem SC-FDMA adalah model propagasi Okumura-Hatta serta menggunakan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh fading*,
 - g. *User Equipment* (UE) dimodelkan berada pada area *sub-urban indor* dan UE dalam kondisi diam,
 - h. Hasil perhitungan akan disimulasikan dengan menggunakan Matlab 7.10.0 (R2010a).
2. Teori performansi SC-FDMA yang meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER, dan PAPR merujuk pada buku "*LTE for 4G Mobile Broadband*" yang ditulis oleh Farooq Khan pada tahun 2009, "*Single Carrier-FDMA a New Air Interface for LTE*" yang ditulis oleh Hyung G. Myung pada tahun 2009 dan "*LTE for UMTS - OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*" yang ditulis oleh Harri Holma dan Antti Toskala, serta forum-forum resmi mengenai LTE.

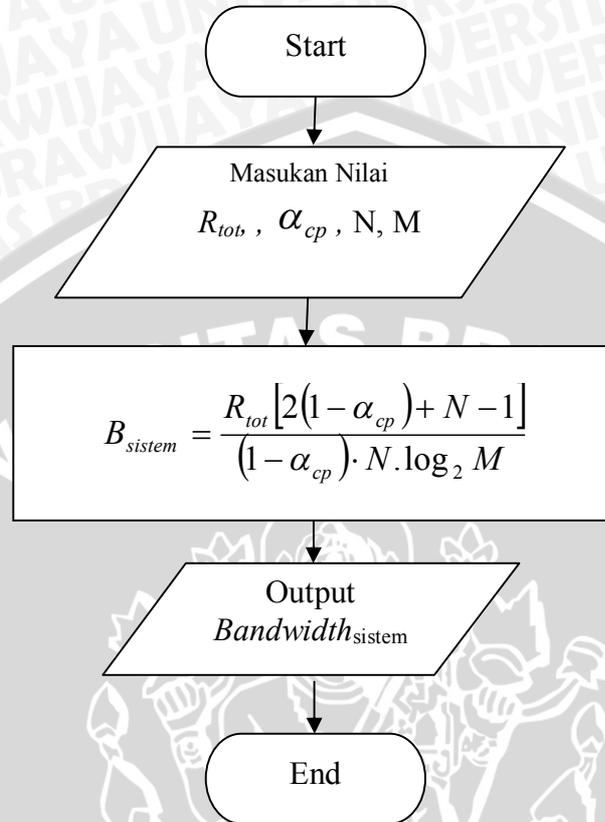
3.3 Perhitungan dan Analisis Data

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar 3GPP *release* 8. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* Matlab 7.10.0 (R2010a) untuk lebih mempermudah dalam proses perhitungan dan penyajian. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi sebagai berikut :

1. *Bandwidth*,
2. *Signal-to-noise ratio* (SNR),
3. Kapasitas kanal,
4. *Bit error rate* (BER), dan
5. *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR)

Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan performansi-performansi yang diinginkan :

1. Perhitungan *Bandwidth*, sistem dengan cara:



Gambar 3.1 Diagram Alir Perhitungan *Bandwidth* Sistem.
(Sumber : Perancangan, 2011)

Dengan,

B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)

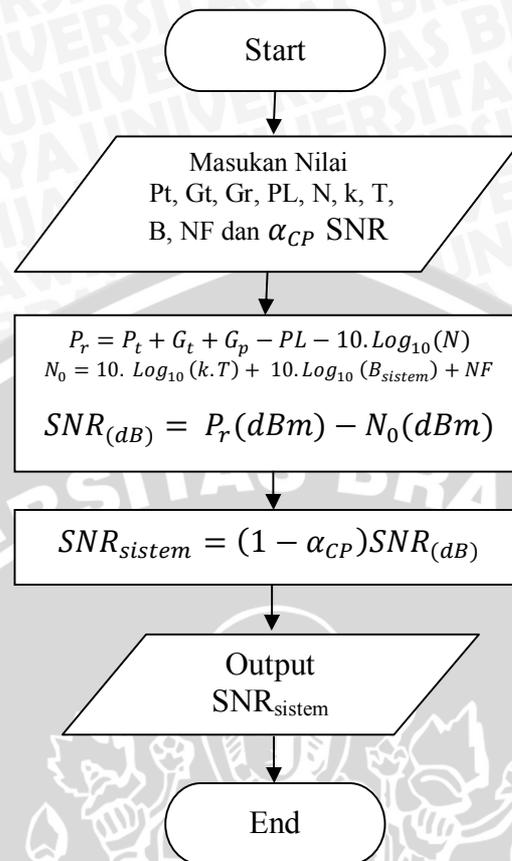
R_{tot} = laju *bit* total yang tersedia (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal

N = jumlah *subcarrier*

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

2. Perhitungan *Signal-to-noise ratio* (SNR) , dengan cara:



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) Sistem.
(Sumber : Perancangan, 2011)

Dengan,

P_r = daya terima (dBm)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = *gain* antenna pemancar (dBi)

G_r = *gain* antenna penerima (dBi)

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

N = jumlah *subcarrier*

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = suhu *absolute* (300° K)

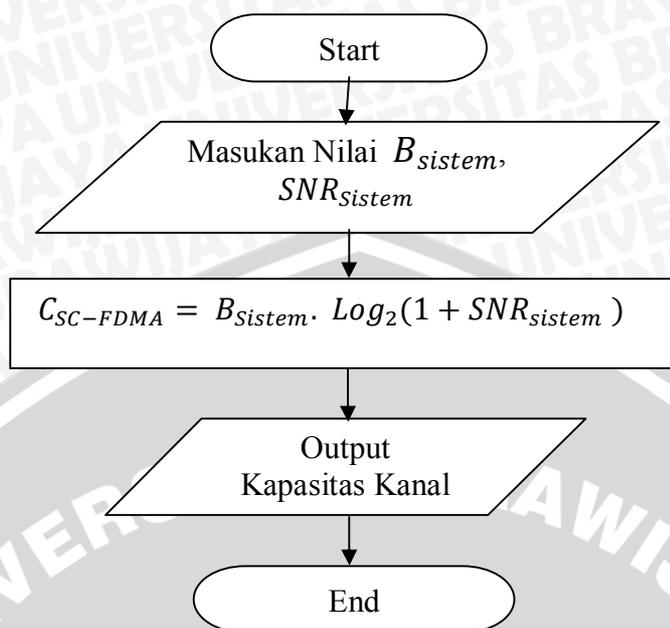
NF = *noise figure* (11,2 dB)

B = *bandwidth* (Hz)

SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise Ratio* sistem (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

3. Perhitungan kapasitas kanal, dengan cara:



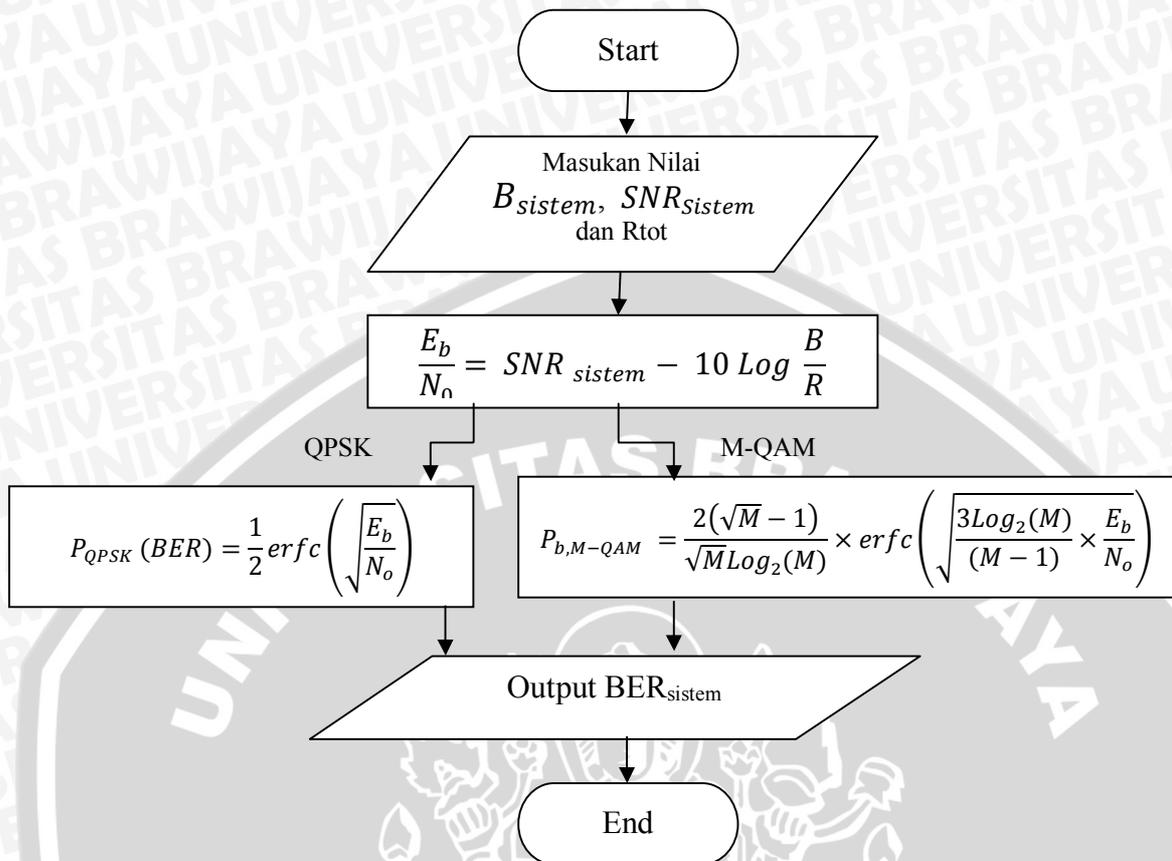
Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem
(Sumber : Perancangan, 2011)

Dengan,

$C_{SC-FDMA}$ = kapasitas kanal (b/s)

B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)

SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise Ratio* sistem (dB)

4. Perhitungan *Bit Error Rate* (BER), dengan cara:

Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan *Bit Error Rate* sistem.
(Sumber : Perancangan, 2011)

Dengan,

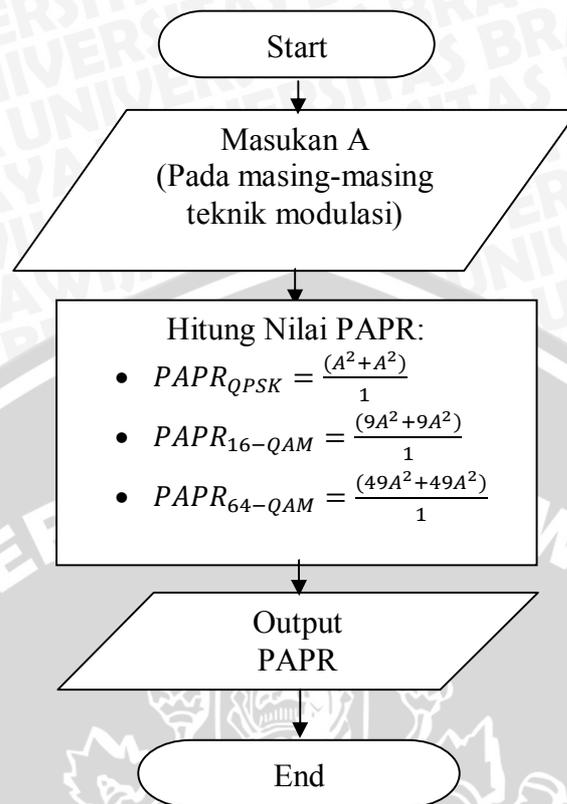
BER = *Bit Error Rate* (BER) sistem (Mbps)

SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise ratio* sistem (dB)

$erfc(x)$ = fungsi kesalahan dari variabel (x),

Dengan, $erfc(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2}$

5. Perhitungan *Peak-to-average Power Ratio (PAPR)*, dengan cara:



Gambar 3.5 Diagram alir perhitungan PAPR sistem.
(Sumber : Perancangan, 2011)

Dengan,

PAPR = *Peak-to-Average Power Ratio*,

A = rata-rata daya (*power*) untuk masing-masing modulasi

3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari teori, hasil simulasi, serta perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan. Tahap selanjutnya dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini ataupun sebagai bahan pendukung dari penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Analisis performansi SC-FDMA yang dilakukan pada BAB IV ini berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada BAB II. Performansi SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER dan PAPR dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM, menggunakan model propagasi Okumura-Hatta serta kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh fading*. Hasil analisis akan disimulasikan menggunakan program Matlab 7.10.0 (R2010a). Hasil perhitungan performansi SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, serta diharapkan dapat mengetahui pengaruh dari jumlah *subcarrier* yang digunakan pada alokasi *bandwidth* yang berbeda.

4.2 Analisis Performansi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)

Pada sub-bab ini akan dibahas performansi SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE. Kelebihan dari sistem transmisi yang menggunakan *multicarrier* SC-FDMA pada dasarnya sama dengan OFDM yaitu dapat mengefisienkan penggunaan *bandwidth* dengan membagi *bandwidth* yang tersedia untuk transmisi sinyal ke banyak *subcarrier narrowband* yang diatur saling *orthogonal*, dan secara kelompok dapat membawa aliran informasi yang independen. Selain itu sistem SC-FDMA dapat menjaga setiap *subcarrier* satu dengan lainnya agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya *inter-symbol interference* (ISI), dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP).

CP diperoleh dari menyalin bagian akhir dari tiap simbol dan kemudian akan diletakkan pada bagian awal simbol dan CP bertidak sebagai *guard interval* diantara simbol yang berdekatan agar tidak saling tumpang tindih. Untuk analisis, CP yang digunakan adalah normal *cyclic prefix*. Akan tetapi, dalam prakteknya penyisipan CP ini dapat menimbulkan rugi-rugi energi yang mengakibatkan penurunan SNR.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi pada sistem LTE menggunakan *air interface* SC-FDMA berdasarkan standar 3GPP *release* 8. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB II, transmisi data pada kanal *uplink* LTE dikirimkan dalam struktur *frame* yang di dalamnya terdiri atas alokasi *resource block* dengan

jumlah *subcarrier* yang berbeda untuk simbol-simbol SC-FDMA tergantung pada kanal *bandwidth* yang digunakan, diantaranya adalah 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. **Tabel 4.1** menjelaskan karakteristik *resource block* untuk masing-masing kanal *bandwidth* berbeda:

Tabel 4.1 Karakteristik *resource block* pada Kanal *Bandwidth* yang Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4MHz	3.0MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
<i>Subframe</i> (TTI) (ms)	1					
<i>Number of Resource Block</i>	6	15	25	50	75	100
<i>Number of Subcarrier</i>	72	180	300	600	900	1200
IDFT (Tx)/DFT (Rx) size	128	256	512	1024	1536	2048
<i>Symbol per resource block</i>	7 simbol untuk normal CP dan 6 simbol untuk long CP					
<i>Reference symbol</i>	Simbol ke-4 untuk normal CP dan ke-6 untuk long CP					
<i>Cyclic Prefix</i> (durasi)	5.20 μ s untuk normal CP dan 16.67 μ s untuk long CP					

(Sumber: Harri Holma, 2007)

LTE menyediakan laju data dengan kecepatan tinggi, dan pada transmisi *uplink* mampu mengirimkan data dengan kecepatan hingga 86 Mbps (menggunakan 64-QAM). Pada transmisi *uplink*, metode modulasi yang dapat tersedia (untuk data *user*) adalah QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Untuk teknik modulasi QPSK membawa 2bit/symbol, untuk teknik modulasi 16-QAM membawa 4bit/symbol, sedangkan untuk teknik modulasi 64-QAM membawa 6 bit/symbol. Pada perhitungan laju data, besarnya kanal *bandwidth* yang digunakan turut disertakan untuk mengetahui jumlah *subcarrier* pada masing-masing kanal *bandwidth*. (ditunjukkan pada Tabel 4.1). Dan pada skripsi ini, diasumsikan menggunakan 13 simbol per 1 ms *subframe*, dan cukup dengan menggunakan *normal cyclic prefix* dengan durasi 5.20 μ s ($\alpha_{CP} = 7.28\%$).

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK membawa 2bit/symbol, pada kanal 1.4 MHz diperoleh jumlah *subcarrier* 72, maka untuk menghitung besarnya *peak bit rate*, dinyatakan dengan persamaan (2.13):

$$\text{Peak bit rates} = \frac{\text{bit per symbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah simbol persubframe}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \alpha_{CP}) \text{Kbps}$$

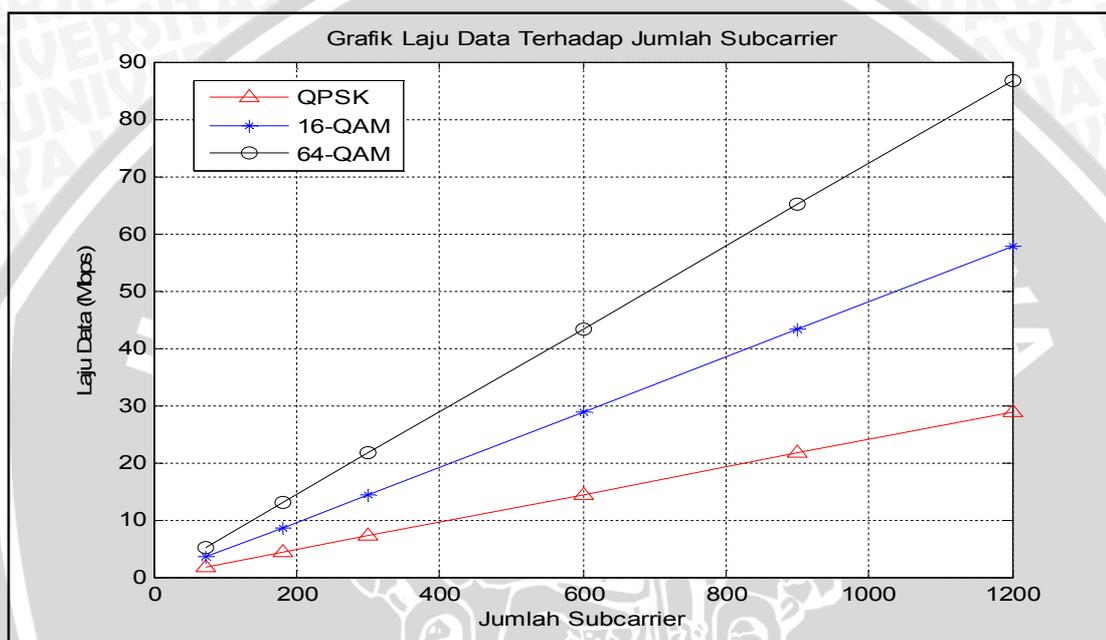
$$\text{Peak bit rates} = \frac{2}{\text{Hz}} \times 72 \times \frac{13}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0.0728) = 1.7 \text{ Mbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh laju data untuk masing-masing teknik modulasi yang digunakan QPSK, 16-QAM dan 64-QAM pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Laju Data Kanal *Uplink*

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72	180	300	600	900	1200
<i>Modulation Coding</i>	<i>Peak Bit Rates (Mbps)</i>					
QPSK	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16-QAM	3.5	8.6	14.4	28.8	43.2	57.6
64-QAM	5.2	13	21.6	43.2	64.8	86.4

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

**Gambar 4.1** Hubungan Laju Data Terhadap Jumlah *Subcarrier*
(Sumber: Hasil perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil perhitungan analisis laju data pada kanal *uplink*, dapat diketahui bahwa:

- Besarnya laju data dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan pada terminal UE. Semakin tinggi teknik modulasi yang digunakan (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) maka semakin banyak *bit* per simbol yang dibawa pada masing-masing teknik modulasi akan memberikan laju yang semakin besar.
- Banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* juga mempengaruhi besarnya laju data. Semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* maka semakin besar pula laju data yang diperoleh.
- Laju data tertinggi yang mampu dicapai pada kanal *uplink* LTE adalah 28.8 Mbps menggunakan teknik modulasi QPSK, 57.686.4 Mbps menggunakan

teknik modulasi 16-QAM, dan 86.6 Mbps dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM, pada alokasi *bandwidth* 20 MHz.

4.2.1 Analisis *Bandwidth* Sistem pada Kanal *Uplink Long Term Evolution (LTE)* dengan penerapan SC-FDMA

Pada setiap simbol SC-FDMA ditambahkan *Cyclic Prefix (CP)* untuk mencegah terjadinya *Inter Symbol Interference*, hal ini dimaksudkan agar antara *subcarrier* satu dengan lainnya tidak saling tumpang tindih. CP diperoleh dari menyalin bagian akhir dari tiap simbol dan kemudian akan diletakkan pada bagian awal simbol. CP bertindak sebagai *guard interval* diantara simbol SC-FDMA yang berdekatan. Telah ditetapkan bahwa durasi *Cyclic Prefix* untuk normal *cyclic prefix* adalah $5.21 \mu s$ ($\alpha_{CP} = 7.28 \%$).

Besarnya *bandwidth* sistem dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.1). *Bandwidth* sistem pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan jumlah *subcarrier* 72 dan laju total menggunakan teknik modulasi QPSK= 1.7 Mbps, M= 2, adalah:

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2 \cdot (1 - \alpha_{CP}) + N - 1]}{(1 - \alpha_{CP}) \cdot N \cdot \log_2(M)}$$

$$B_{sistem} = \frac{1.7 [2 \cdot (1 - 0.0728) + 72 - 1]}{(1 - 0.0728) \cdot 72 \cdot \log_2(4)}$$

$$= 0.927617 \text{ Mbps}$$

Pada analisis skripsi ini besarnya *bandwidth* sistem yang terpakai untuk sejumlah *subcarrier* akan dibandingkan dengan *bandwidth configure* (*bandwidth* yang tersedia) yang ada pada desain kanal *uplink LTE*, untuk mengetahui efisiensi pemakaian *bandwidth* pada masing-masing kanal. Dengan menggunakan persamaan (2.4), akan diperoleh *bandwidth configure* pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz sebesar:

$$B_{config} = N_{SC}^{RB} \times N_{RB}^{UL} \times B_{SC}$$

$$B_{config} = 12 \times 6 \times 15 \text{ KHz} = 1.080 \text{ MHz}$$

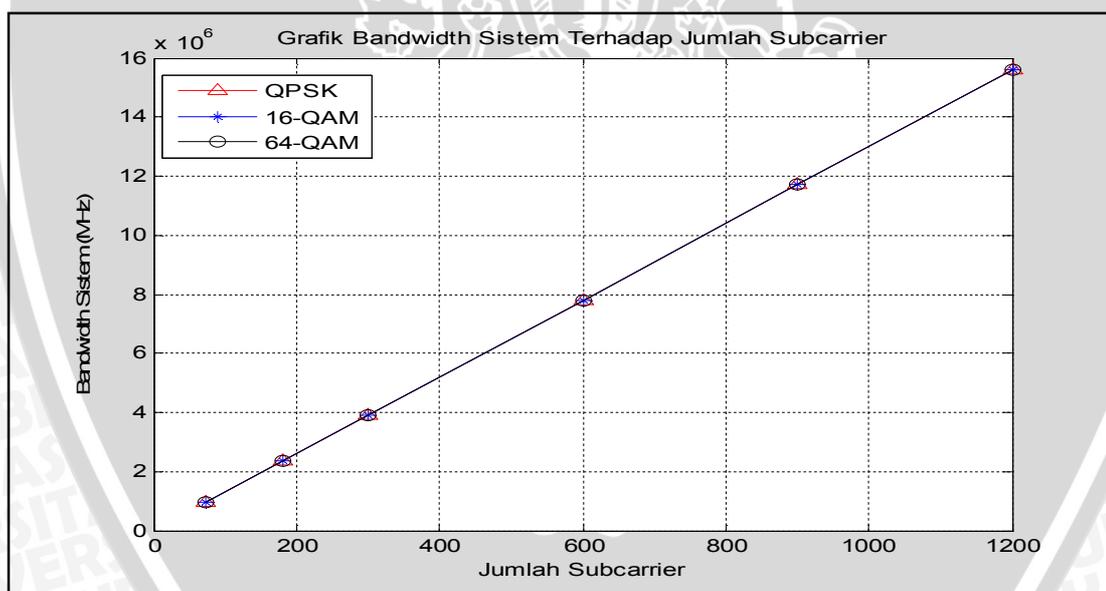
Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *bandwidth* sistem dan *bandwidth configure* untuk sejumlah *subcarrier* pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz untuk tiap-tiap jumlah *subcarrier* 72, 180, 300, 600, 900, 1200. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Hasil Analisis *Bandwidth* sistem dan *Bandwidth configure* pada Sejumlah *Subcarrier*

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4 MHz		3.0 MHz		5.0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180		300	
<i>Modulation Coding</i>	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)
QPSK	0.927617	1.08	2.329815	2.70	3.893715	4.50
16-QAM	0.954900		2.329815		3.893715	
64-QAM	0.945805		2.347876		3.893715	

Kanal <i>Bandwidth</i>	10 MHz		15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	600		900		1200	
<i>Modulation Coding</i>	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (MHz)	<i>Bandwidth</i> <i>Configure</i> (MHz)
QPSK	7.776372	9.00	11.659030	13.50	15.541687	18.00
16-QAM	7.776372		11.659030		15.541687	
64-QAM	7.776372		11.659030		15.541687	

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

**Gambar 4.2** Hubungan *Bandwidth* Sistem terhadap Jumlah *Subcarrier*
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* sistem, dapat diketahui bahwa:

- Besarnya B_{sistem} pada kanal *bandwidth* tidak dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan, tetapi dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* semakin besar jumlah *subcarrier* yang digunakan maka semakin besar pula nilai B_{sistem} .

- b) Efisiensi pemakaian *bandwidth* sistem yang terpakai untuk sejumlah subcarrier dengan kanal *bandwidth* yang tersedia dapat dihitung dengan membandingkan nilai $B_{\text{sistem}}:B_{\text{configure}}$ hasilnya pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz memiliki efisiensi 85.8% dan pada kanal *bandwidth* 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz memiliki efisiensi hingga 86.3 %.
- c) Besarnya nilai B_{sistem} yang paling besar adalah pada kanal *bandwidth* 20 MHz , yaitu sebesar 15.54 MHz, dan nilai yang paling kecil adalah pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz yaitu sebesar 0.92 MHz.

4.2.2 Analisis Signal-to-Noise Ratio (SNR) Sistem pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE) dengan penerapan SC-FDMA

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dalam perbandingan antara sinyal dengan noise. Pada analisis *Signal-to-Noise Ratio* akan digunakan spesifikasi LTE untuk model propagasi Okumura-Hatta pada keadaan *Suburban-indoor*, yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Spesifikasi LTE untuk Model Propagasi Okumura-Hatta

Parameter	Value
<i>Operating Frequency</i>	2600 MHz
<i>Duplex</i>	FDD, TDD
<i>Channel Bandwidth</i>	1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz
<i>Modulation Coding</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>Radius Cell</i>	<i>Terrain A</i> (Rural) 300 – 800 meters <i>Terrain B</i> (Sub-Urban) 800 – 1500 meters <i>Terrain C</i> (Sub-Urban) 1500 – 15000 meters
<i>Operating Temperature</i>	0°C – 40 °C
<i>Transmitter (UE)</i>	
<i>UE Antenna Height (m)</i>	1.5 meters
<i>Max UE Power Amplifier</i>	23 dBm
<i>UE Antenna gain</i>	0 dBi
<i>Receiver (Node-B)</i>	
<i>Node-B Antenna Height</i>	50 meters
<i>Node-B Antenna Gain</i>	18 dBi
<i>Node-B Noise Figure</i>	2 dB

(Sumber: Harri Holma, 2009)

Dari spesifikasi di atas, maka dapat ditentukan beberapa parameter penting untuk menganalisis SNR antara lain:

- Frekuensi kerja yang digunakan pada LTE, yaitu 2600 MHz.
- Temperatur operasi pada LTE adalah 0°C – 40 °C tetapi pada analisis ini digunakan temperature ruangan sebesar 30°C atau sama dengan 300°K.
- Daya output pada pemancar *User Equipment* (UE) sebesar 23 dBm.
- Penguatan pada antenna UE adalah 0 dBi.
- Penguatan pada antenna eNode-B adalah 2 dBi.
- UE berada pada area *suburban indoor (terrain-B)* dan dalam keadaan diam.

Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dilakukan pada kanal *wireless* dengan menggunakan model kanal noise AWGN dan *Rayleigh Fading*. Untuk menganalisis SNR, diperlukan perhitungan rugi-rugi propagasi NLOS. Untuk mengetahui besarnya rugi-rugi propagasi NLOS (*PL*) maka diperlukan parameter jarak jangkauan antara *transmitter* dan *receiver* (*d*), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 LTE Operating Range (Sub-Urban)

<i>Modulation Coding</i>	Tipe Terrain	<i>Operating Range</i> (m)	Jarak yang akan dianalisis (m)
QPSK	B	1260-1500	1400
16-QAM		1030-1260	1150
64-QAM		800-1030	900

(Sumber: Harri Holma, 2009)

Rugi-rugi propagasi NLOS dengan jarak pemancar dan penerima (*d*) = 1400 meter (*terrain-B*), pada frekuensi operasi LTE 2600 MHz, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.14), sebesar:

$$PL = A + 10 \cdot \gamma \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h$$

$$PL = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot c \cdot d_0}{f} \right) + 10 \cdot \left[a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \right] \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s$$

$$+ 6 \text{Log}_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) + \left[-20 \text{Log}_{10} \left(\frac{h_{ue}}{2} \right) \right]$$

$$PL = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4\pi \times 3 \cdot 10^8 \times 100}{2.6 \times 10^9} \right) + 10 \times \left[4 - 0.0065 \times 50 + \frac{17.1}{50} \right]$$

$$\times \text{Log}_{10} \left(\frac{900}{100} \right) + 9.6 + 6 \text{Log}_{10} \left(\frac{2.6 \times 10^9}{2000} \right) + \left[-10.8 \text{Log}_{10} \left(\frac{1.5}{2} \right) \right]$$

$$PL = 133.24855 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai rugi-rugi propagasi NLOS untuk teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM dengan jarak antara *transmitter* dan *receiver* sebesar 1150 meter dan 1400 meter. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Analisis Rugi-Rugi Propagasi NLOS

Modulation Coding	Tipe Terrain	Jarak yang akan dianalisis (m)	PL (dB)
QPSK	B	1400	133.24855
16-QAM		1150	129.81682
64-QAM		900	125.54051

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Dalam area *sub-urban* terjadi modulasi adaptif, dimana secara efektif sistem dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*). Semakin jauh jarak yang akan ditempuh maka redaman akan semakin besar, dan perpindahan modulasi dapat diatur secara otomatis dan dinamis dari QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Rugi-rugi propagasi NLOS dipergunakan untuk menganalisis besarnya daya terima (P_r) pada *receiver*. Pada sistem SC-FDMA, daya terima sangat dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan. Sesuai dengan persamaan (2.20), maka besarnya daya terima (P_r) pada *receiver* untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan jumlah *subcarrier* 72, adalah:

$$P_r = P_t + G_t + G_p - PL - 10 \cdot \text{Log}_{10}(N)$$

$$P_r = 23 + 0 + 18 - 133.24855 - 10 \cdot \text{Log}_{10}(72)$$

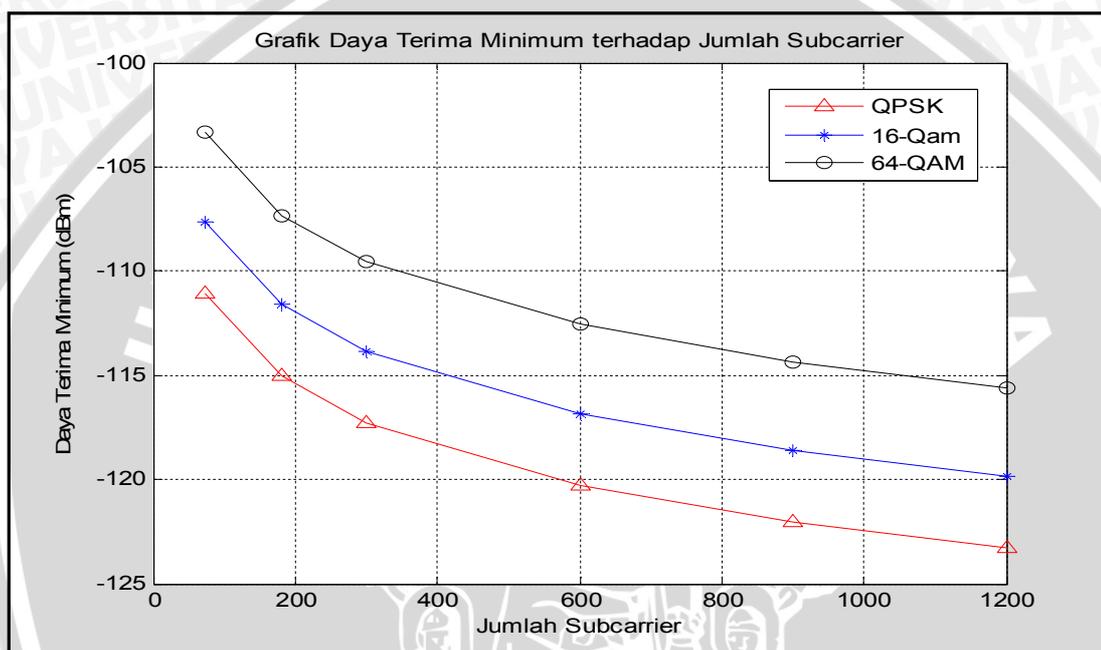
$$P_r = -110.82187 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai daya terima (P_r) pada *receiver* untuk sejumlah *subcarrier* pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz untuk tiap-tiap jumlah *subcarrier* 72, 180, 300, 600, 900, 1200. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Analisis Daya Terima Minimum pada *Receiver*

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72	180	300	600	900	1200
<i>Modulation Coding</i>	<i>Pr</i> (dBm)					
QPSK	-110.82187	-114.80127	-117.01976	-120.03006	-121.79097	-123.04036
16-QAM	-107.39014	-111.36954	-113.58803	-116.59833	-118.35924	-119.60863
64-QAM	-103.11383	-107.09323	-109.31172	-112.32202	-114.08293	-115.33232

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

**Gambar 4.3** Hubungan Daya Terima Minimum terhadap Jumlah Subcarrier (Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan rugi-rugi propagasi (*path loss*) dan daya terima pada *receiver*, dapat diketahui bahwa:

- Besarnya rugi-rugi propagasi dipengaruhi oleh frekuensi kerja LTE dan tinggi antenna UE dan eNode-B, selain itu juga dipengaruhi oleh jarak antara UE dan eNode-B, semakin jauh jarak antara UE dan eNode-B maka akan memberikan redaman/rugi-rugi semakin besar pula. Sedangkan besarnya daya pemancar yang diterima oleh *receiver* dipengaruhi oleh besarnya rugi-rugi propagasi, serta banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* yang digunakan.
- Redaman propagasi yang paling besar adalah 133.248 dB pada jarak UE dan eNode-B sebesar 1.4 km dan yang paling kecil adalah 125.54 dB pada jarak UE dan eNode-B sebesar 900 m. Sedangkan daya terima minimum pada *receiver*

yang paling besar adalah pada saat menggunakan modulasi QPSK, yaitu -110 dBm dan yang paling kecil adalah pada saat menggunakan modulasi 64-QAM, yaitu -115 dBm.

Daya *noise* saluran transmisi (N_0) untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan $B_{w_{sistem}}=0.9276172$ MHz, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.21), sebesar:

$$N_0 = 10 \cdot \text{Log}_{10}(k \cdot T) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(B_{sistem}) + NF$$

$$N_0 = 10 \cdot \text{Log}_{10}(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(0.9276172 \times 10^6) + 2$$

$$N_0 = -142.15630 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai daya noise saluran transmisi (N_0) pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, dan menggunakan teknik modulasi yang berbeda yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Analisis Daya *Noise* Saluran Transmisi

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72	180	300	600	900	1200
<i>Modulation Coding</i>	<i>No</i> (dBm)					
QPSK	-142.15630	-138.15677	-135.92635	-132.92222	-131.16337	-129.91501
16-QAM	-142.03041	-138.15677	-135.92635	-132.92222	-131.16337	-129.91501
64-QAM	-142.07197	-138.12324	-135.92635	-132.92222	-131.16337	-129.91501

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Sesuai dengan Tabel 4.7 dan 4.8, pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan teknik modulasi QPSK didapatkan $P_r = -110.82187$ dBm dan nilai $N_0 = -142.15630$ dBm. Sehingga dengan menggunakan persamaan (2.19), dapat diperoleh nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) sebesar:

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_0(dBm)$$

$$SNR_{(dB)} = -110.82187 - (-142.15630)$$

$$SNR_{(dB)} = 31.33443 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15

MHz, dan 20 MHz, dan menggunakan teknik modulasi yang berbeda yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Analisis *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

Kanal Bandwidth	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah Subcarrier	72	180	300	600	900	1200
Modulation Coding	SNR (dB)					
QPSK	31.33443	23.35550	18.90659	12.89216	9.37239	6.87465
16-QAM	34.64027	26.78723	22.33832	16.32389	12.80412	10.30638
64-QAM	38.95814	31.03001	26.61463	20.60020	17.08043	14.58269

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Nilai SNR_{sistem} untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan $SNR = 31.33443$ dB dan Faktor *Cyclic Prefix* (α_{CP}) = 0.0728, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.22), dimana:

$$SNR (dB) = 10 \text{ Log } (x)$$

$$31.33443 = 10 \text{ Log } (x)$$

$$x = 10^{3.133443} = 1359.69969$$

Sehingga didapatkan nilai SNR_{sistem} :

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP})SNR$$

$$SNR_{sistem} = (1 - 0.0728) \times 1359.69969$$

$$SNR_{sistem} = 1260.71355$$

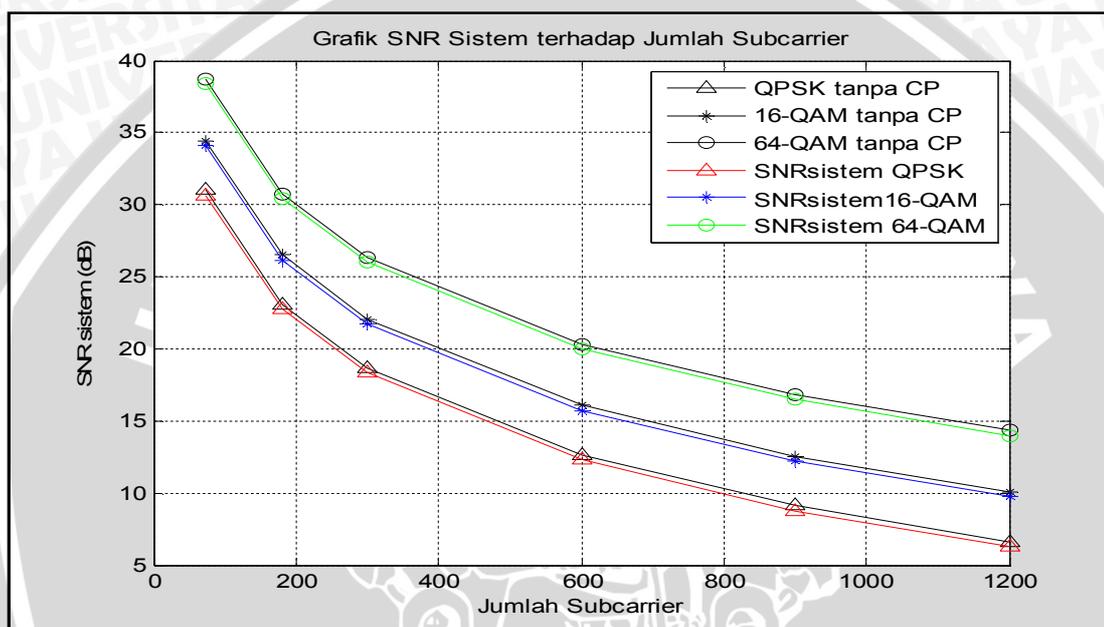
$$SNR_{sistem} (dB) = 31.00616 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *Signal-to-Noise Ratio* sistem (SNR_{sistem}) pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Analisis *Signal-to-Noise Ratio* Sistem (SNR_{sistem})

Kanal Bandwidth	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah Subcarrier	72	180	300	600	900	1200
Modulation Coding	SNR_{sistem} (dB)					
QPSK	31.00616	23.02724	18.57832	12.56389	9.04413	6.54638
16-QAM	34.31200	26.45897	22.01005	15.99562	12.47586	9.97811
64-QAM	38.62987	30.70174	26.28636	20.27194	16.75217	14.25442

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

**Gambar 4.4** Hubungan SNR Sistem terhadap Jumlah Subcarrier (Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* sistem, dapat diketahui bahwa:

- Besarnya nilai SNR_{sistem} dipengaruhi oleh besarnya daya terima pada *receiver* dan juga besarnya daya *noise* pada saluran transmisi.
- Jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* juga akan mempengaruhi besarnya nilai SNR_{sistem} , karena semakin banyak *subcarrier* yang digunakan akan memberikan daya terima pada *receiver* berkurang, sehingga nilai SNR_{sistem} menurun.
- Panjang durasi *cyclic prefix* (CP) yang digunakan (durasi $5.20 \mu\text{s}$, $\alpha_{CP} = 7.28\%$) akan mempengaruhi besarnya nilai SNR_{sistem} , dan menyebabkan penurunan SNR_{sistem} dikarenakan pada sisi *receiver* pemisahan CP menyebabkan rugi-rugi

energi. Oleh karena itu SNR_{sistem} turun 7.28% dari SNR yang tidak dipengaruhi CP.

- d) Pada teknik modulasi 64-QAM, memiliki area jarak terdekat akan memiliki nilai SNR_{sistem} paling tinggi dibandingkan dengan modulasi lain. Dimana SNR_{sistem} tertinggi yang dapat dicapai dengan teknik modulasi 64-QAM hingga 38.62 dB, 16-QAM hingga 34.31 dB dan QPSK hingga 31.00 dB (pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz).

4.2.3 Analisis Kapasitas Kanal pada Terminal *User Equipment* (UE) Long Term Evolution (LTE) dengan penerapan SC-FDMA

Kapasitas kanal adalah suatu parameter yang menentukan jumlah rata-rata maksimum *bit* per detik yang dapat dikirimkan secara akurat tanpa adanya kesalahan pada suatu media transmisi. Perhitungan kapasitas kanal sistem didasarkan pada teorema *Shannon* yang terdapat pada persamaan (2.23).

Untuk memperoleh nilai kapasitas kanal sistem maka dibutuhkan parameter SNR_{sistem} yang terdapat pada Tabel 4.10, sehingga nilai kapasitas kanal sistem untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan $SNR = 31.00616$ $Bandwidth_{sistem} = 0.9276172$ MHz, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.24), dimana:

$$\begin{aligned} SNR (dB) &= 10 \text{ Log } (x) \\ 31.00616 &= 10 \text{ Log } (x) \\ x &= 10^{3.100616} = 1260.71347 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai kapasitas kanal pada terminal UE:

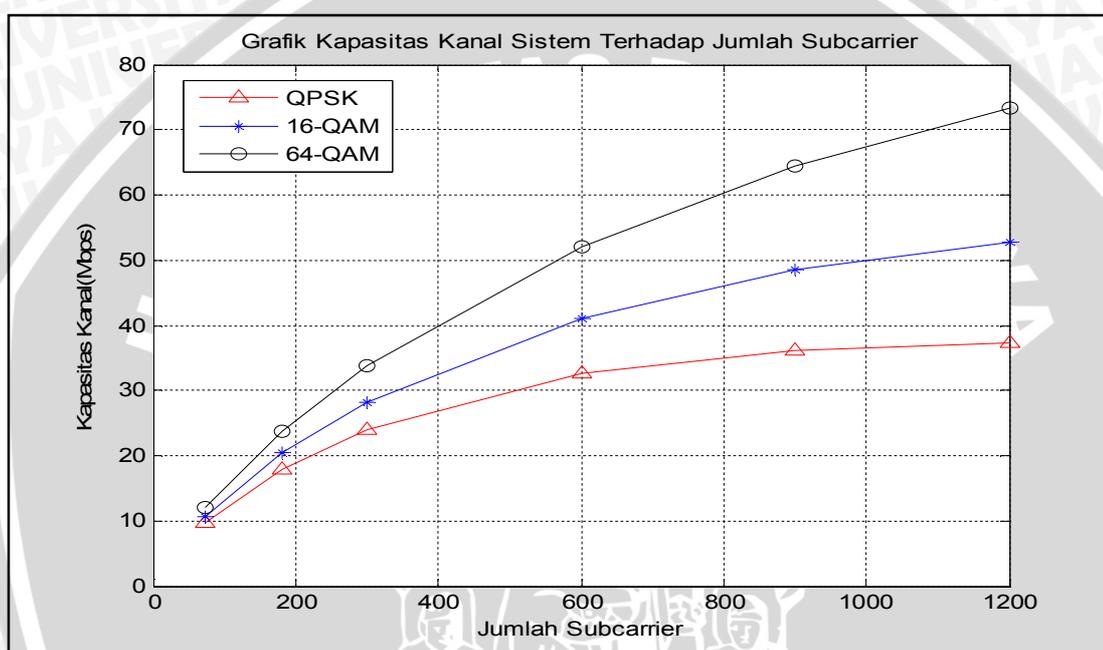
$$\begin{aligned} C_{SC-FDMA} &= B_{sistem} \cdot \text{Log}_2(1 + SNR_{sistem}) \\ C_{SC-FDMA} &= 0.9276172 \times 10^6 \text{ Log}_2(1 + 1260.71347) \\ C_{SC-FDMA} &= 9.55554 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai kapasitas kanal pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Analisis Kapasitas Kanal

Kanal Bandwidth	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah Subcarrier	72	180	300	600	900	1200
Modulation Coding	Kapasitas Kanal (Mbps)					
QPSK	9.55554	17.83858	24.10779	33.06080	37.00380	38.28396
16-QAM	10.88465	20.48545	28.50447	41.59938	49.24481	53.66271
64-QAM	12.13730	23.94863	34.01367	52.47247	65.23354	74.41969

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

**Gambar 4.5** Hubungan Kapasitas Kanal Sistem terhadap Jumlah Subcarrier
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan Kapasitas Kanal sistem, dapat diketahui bahwa:

- Besarnya kapasitas kanal dipengaruhi oleh banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth*, sehingga kapasitas kanal meningkat seiring dengan bertambahnya *subcarrier* yang digunakan.
- Teknik modulasi yang digunakan akan membawa laju data yang berbeda. Semakin besar laju data yang dihasilkan maka semakin besar pula kapasitas kanal yang dihasilkan. Modulasi 64-QAM memiliki laju data yang paling besar, oleh karena itu modulasi 64-QAM memberikan kapasitas kanal yang paling besar jika dibandingkan dengan teknik modulasi lainnya.

- c) Dalam hal ini modulasi 64-QAM akan memberikan kapasitas kanal yang paling besar hingga 74.42 Mbps, 16-QAM memberikan kapasitas kanal hingga 53.62 Mbps dan QPSK memberikan kapasitas kanal hingga 38.28 Mbps pada kanal *bandwidth* 20 MHz.

4.2.4 Analisis *Bit Error Rate* (BER) Sistem *Long Term Evolution* (LTE) dengan penerapan SC-FDMA

Bit Error Rate merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* error terhadap total *bit* yang diterima. Dalam sistem transmisi digital untuk menganalisis performansi BER, dibutuhkan parameter nilai E_b/N_0 .

E_b/N_0 adalah suatu parameter yang sangat berhubungan dengan SNR_{sistem} . E_b/N_0 dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise*. Nilai E_b/N_0 untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan $SNR = 31.00616$ dB dan $Bandwidth_{sistem} = 0.9276172$ MHz, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.25), sebesar:

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR_{sistem} - 10 \text{ Log } \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 31.00616 - 10 \text{ Log } \frac{0.9276172 \times 10^6}{1.7 \times 10^6}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 33.63697 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai E_b/N_0 pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Analisis E_b/N_0

Kanal <i>Bandwidth</i>	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72	180	300	600	900	1200
<i>Modulation Coding</i>	E_b/E_0 (dB)					
QPSK	33.63697	25.68870	21.24801	15.23975	11.72204	9.22533
16-QAM	39.95310	32.13074	27.69004	21.68178	18.16407	15.66736
64-QAM	46.03189	38.13442	33.72726	27.71900	24.20129	21.70458

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Setelah mendapatkan parameter nilai E_b/N_0 , maka besarnya nilai BER untuk masing-masing teknik modulasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.26-2.27):

a) **Teknik modulasi QPSK,**

Untuk nilai $E_b/N_0 = 33.63697$ dB:

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{33.63697}) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(5,799738) \end{aligned}$$

Nilai $\operatorname{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didefinisikan sebagai fungsi kesalahan dari *variable* (x). Dimana:

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{3.14 \times (5.799738)}} e^{-(5.799738)^2} \\ &\approx 5.774 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

Sehingga probabilitas *error* untuk teknik modulasi QPSK adalah:

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \times 5.774 \times 10^{-16} \\ P_{b,QPSK} &= 2.88 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

Teknik modulasi QPSK memberikan nilai BER sebesar 2.88×10^{-16} , hal ini yang berarti ketika 1×10^{16} *bit* ditransmisikan, kemungkinan terdapat 3 *bit* yang *error* atau salah.

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai BER pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, menggunakan teknik modulasi QPSK.

b) **Teknik modulasi 16-QAM,**

Untuk nilai $E_b/N_0 = 39.95310$ dB:

$$P_{b,M-QAM} = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} \times \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{(M-1)} \times \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$$P_{b,16-QAM} = \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16}\text{Log}_2(16)} \times \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\text{Log}_2(16)}{(16-1)} \times 39.9531} \right)$$

$$= 0.375 \times \text{erfc}(2.826768)$$

Nilai $\text{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didenisikan sebagai fungsi kesalahan dari *variable* (x). Dimana:

$$\text{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2}$$

$$\approx \frac{1}{\sqrt{3.14 \times (2.826768)^2}} e^{-(2.826768)^2}$$

$$\approx 1.1366 \times 10^{-4}$$

Sehingga probabilitas *error* untuk teknik modulasi 16-QAM adalah:

$$P_{b,16-QAM} = 0.375 \times 1.1366 \times 10^{-4}$$

$$P_{b,16-QAM} = 4.26 \times 10^{-5}$$

Teknik modulasi 16-QAM memberikan nilai BER sebesar 4.26×10^{-5} , hal ini yang berarti ketika 1×10^5 *bit* ditransmisikan, kemungkinan terdapat 5 *bit* yang *error* atau salah.

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai BER pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, menggunakan teknik modulasi 16-QAM.

c) Teknik modulasi 16-QAM,

Untuk nilai $E_b/N_0 = 46.03189$ dB:

$$P_{b,64-QAM} = \frac{2(\sqrt{64}-1)}{\sqrt{64}\text{Log}_2(64)} \times \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\text{Log}_2(64)}{(64-1)} \times 46.03189} \right)$$

$$= 0.29167 \times \text{erfc}(1.813282)$$

Nilai $\text{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didenisikan sebagai fungsi kesalahan dari *variable* (x). Dimana:

$$\text{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2}$$

$$\approx \frac{1}{\sqrt{3.14 \times (1.813282)^2}} e^{-(1.813282)^2}$$

$$\approx 1.564 \times 10^{-2}$$

Sehingga probabilitas *error* untuk teknik modulasi 64-QAM adalah:

$$P_{b,64-QAM} = 0.29167 \times 1.564 \times 10^{-2}$$

$$P_{b,64-QAM} = 4.56 \times 10^{-3}$$

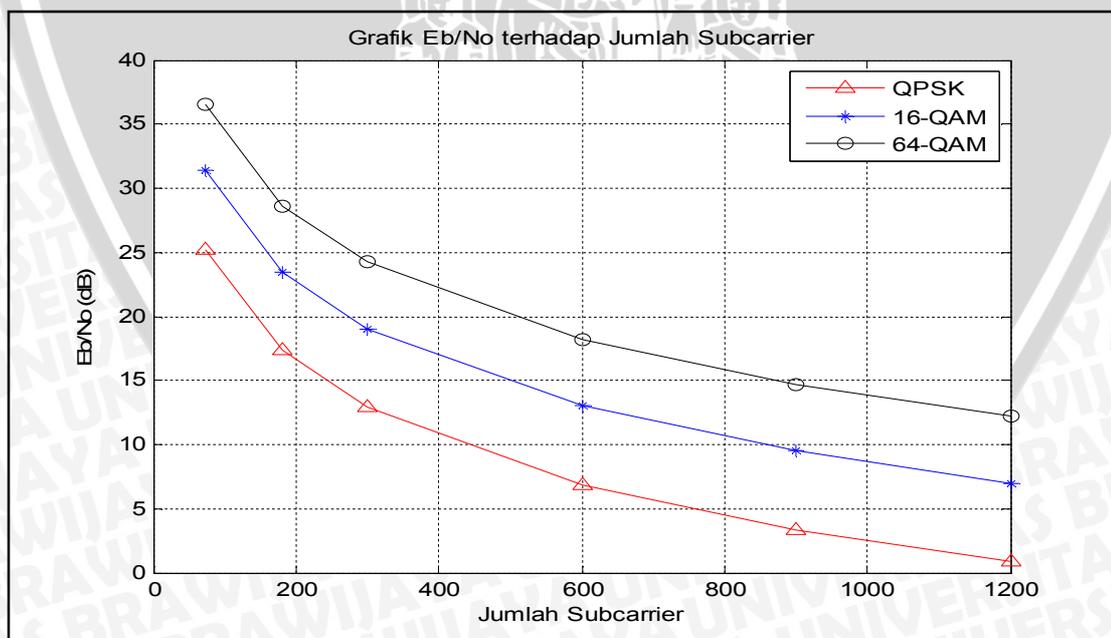
Teknik modulasi 64-QAM memberikan nilai BER sebesar 4.56×10^{-3} , hal ini yang berarti ketika 1×10^3 *bit* ditransmisikan, kemungkinan terdapat 5 *bit* yang *error* atau salah.

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai BER pada kanal *bandwidth* yang berbeda 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Analisis *Bit Error Rate* (BER)

Kanal Bandwidth	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Jumlah Subcarrier	72	180	300	600	900	1200
Modulation Coding	<i>Bit Error Rate</i>					
QPSK	2.88 E-16	8.74 E-13	7.78 E-11	3.44 E-08	1.24 E-06	1.59 E-05
16-QAM	4.26 E-05	2.15 E-04	5.43 E-04	1.91 E-03	4.05 E-03	6.93 E-03
64-QAM	4.56 E-03	8.40 E-03	1.18 E-02	1.90 E-02	2.54 E-02	3.12 E-02

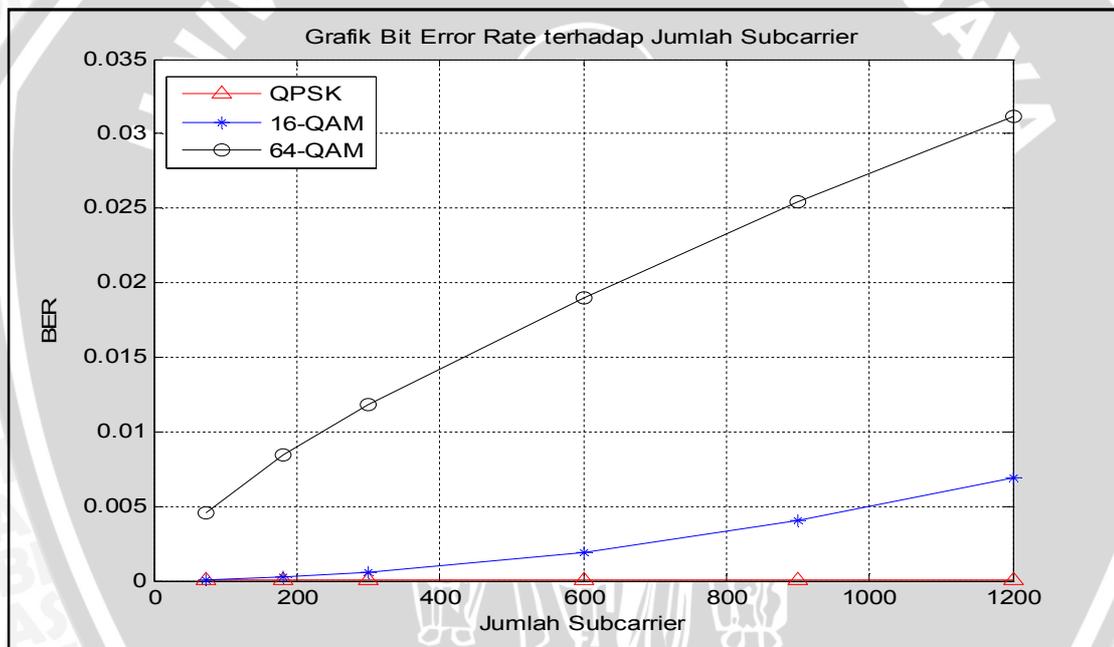
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)



Gambar 4.6 Hubungan *Eb/No* terhadap Jumlah *Subcarrier*
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan E_b/N_0 dapat diketahui bahwa:

- Besarnya nilai E_b/N_0 dipengaruhi oleh jarak antara UE dan eNode-B serta jumlah *subcarrier* yang digunakan pada tiap-tiap kanal *bandwidth*.
- Semakin jauh jarak antara UE dan eNode-B maka nilai E_b/N_0 akan semakin menurun, semakin jauh jarak antara UE dan eNode-B maka akan memberikan redaman/rugi-rugi semakin besar pula, sehingga kualitas sinyal menurun.
- Semakin banyak *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth*, maka akan memberikan nilai E_b/N_0 yang semakin kecil, karena semakin banyak *subcarrier* yang digunakan akan memberikan daya terima pada *receiver* berkurang, sehingga nilai SNR_{system} menurun.



Gambar 4.7 Hubungan *Bit Error Rate* terhadap Jumlah *Subcarrier*
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *Bit Error Rate* (BER) dapat diketahui bahwa:

- Parameter nilai E_b/N_0 , diperlukan ketika akan menentukan performansi *Bit Error Rate* (BER) pada skema modulasi digital yang berbeda.
- Besarnya BER mengalami kenaikan seiring bertambahnya laju data. Hal ini dikarenakan semakin besar laju data, maka *bit error* yg dihasilkan akan semakin banyak.

- c) Dengan nilai BER yang kecil maka akan diperoleh kualitas sinyal yang lebih baik, dalam hal ini modulasi QPSK memberikan nilai BER paling baik jika dibandingkan modulasi lainnya hingga 2.88×10^{-16} hal ini yang berarti ketika 1×10^{16} bit ditransmisikan, hanya terdapat 3 bit yang error, modulasi 16-QAM memberikan nilai BER hingga 4.26×10^{-5} dan modulasi 64-QAM memberikan nilai BER hingga 3.12×10^{-2}

4.2.5 Analisis Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) Long Term Evolution (LTE) dengan penerapan SC-FDMA

Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) adalah suatu performansi untuk menentukan indikasi efisiensi daya dari suatu transmitter. PAPR pada umumnya didefinisikan sebagai rasio perbandingan puncak daya sinyal pada waktu (t) dengan rata-rata daya sinyal keseluruhan.

Sinyal SC-FDMA dimappingkan melalui diagram konstelasi pada domain frekuensi menggunakan operasi IDFT dan menjadi sinyal dengan domain waktu. Meskipun *mapping* dari konstelasi bersifat deterministik, secara keseluruhan cukup sulit untuk menghitung nilai dari PAPR pada domain waktu, oleh karenanya sinyal dianalisis pada set konstelasi yang diberikan. Maka besarnya PAPR pada SC-FDMA untuk masing-masing teknik modulasi adalah:

a) QPSK

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi QPSK dapat dihitung dengan persamaan (2.31):

$$PAPR_{QPSK} = \frac{(A^2 + A^2)}{1}, \quad \text{dimana} \quad A = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$PAPR_{QPSK} = \frac{\left(\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2\right)}{1} = 1.0$$

Sehingga,

$$PAPR_{QPSK} (dB) = 10 \text{ Log } (1.0)$$

$$PAPR_{QPSK} (dB) = 0 \text{ dB}$$

b) 16-QAM

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi 16-QAM dapat dihitung dengan persamaan (2.33):

$$PAPR_{16-QAM} = \frac{(9A^2 + 9A^2)}{1}, \quad \text{dimana} \quad A = \frac{1}{\sqrt{10}}$$

$$PAPR_{16-QAM} = \frac{9\left(\frac{1}{\sqrt{10}}\right)^2 + 9\left(\frac{1}{\sqrt{10}}\right)^2}{1} = 1.8$$

Sehingga,

$$PAPR_{16-QAM} (dB) = 10 \text{ Log} (1.8)$$

$$PAPR_{16-QAM} (dB) = 2.55 \text{ dB}$$

c) 64-QAM

Maksimum nilai PAPR untuk modulasi 64-QAM dapat dihitung dengan persamaan (2.35):

$$PAPR_{64-QAM} = \frac{(49A^2 + 49A^2)}{1}, \quad \text{dimana} \quad A = \frac{1}{\sqrt{42}}$$

$$PAPR_{64-QAM} = \frac{49\left(\frac{1}{\sqrt{42}}\right)^2 + 49\left(\frac{1}{\sqrt{42}}\right)^2}{1} = \frac{98}{42} = 2.33$$

Sehingga,

$$PAPR_{64-QAM} (dB) = 10 \text{ Log} (2.33)$$

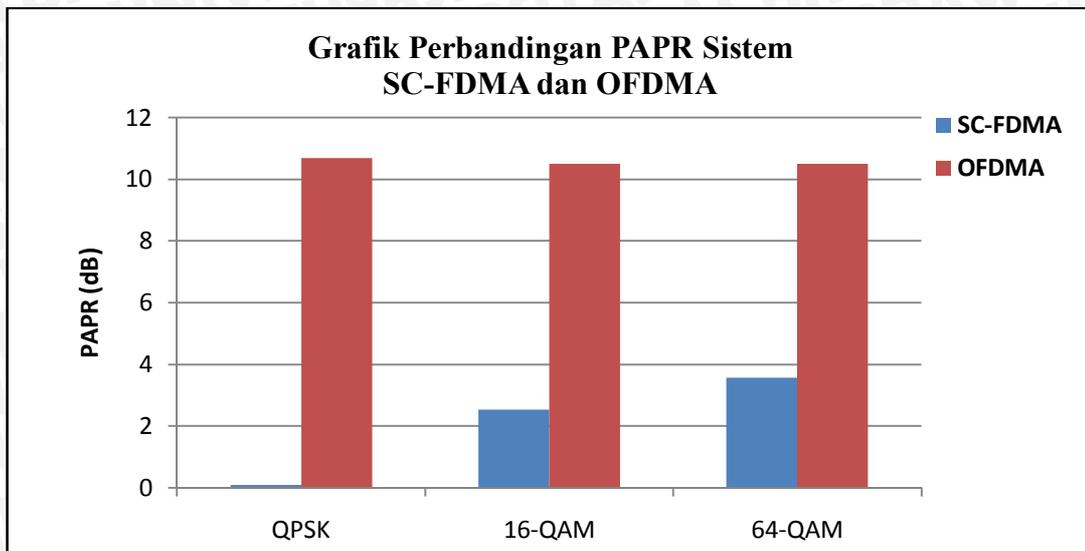
$$PAPR_{64-QAM} (dB) = 3.68 \text{ dB}$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa besarnya nilai PAPR pada sistem SC-FDMA lebih rendah jika dibandingkan nilai PAPR pada sistem OFDMA. Besarnya PAPR menggunakan sistem SC-FDMA dan OFDMA pada kanal *bandwidth* 3 MHz dengan *N-point* IDFT 256 ditunjukkan pada Tabel 4.14. (Hyung G. Myung, 2006)

Tabel 4.14 Nilai PAPR Sistem SC-FDMA dan OFDMA

Modulation Coding	SC-FDMA PAPR (dB)	OFDMA PAPR (dB)
QPSK	0	10.7
16-QAM	2.55	10.5
64-QAM	3.68	10.6

Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan besarnya PAPR pada sistem SC-FDMA dan OFDMA.



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai PAPR Sistem SC-FDMA dan OFDMA
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2011)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan nilai PAPR untuk sistem SC-FDMA dapat diketahui bahwa:

- a) Nilai PAPR sistem, SC-FDMA jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan PAPR sistem OFDMA.
- b) Semakin tinggi teknik modulasi yang digunakan akan berpengaruh pada nilai PAPR yang semakin tinggi juga. Hal ini ditunjukkan nilai PAPR untuk modulasi QPSK sebesar 0 dB, 16-QAM sebesar 2.55dB dan 64-QAM sebesar 3.68 dB.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi perhitungan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan modulasi pada kanal *uplink* LTE berpengaruh pada banyaknya *bit* yang dibawa pada setiap simbol, hal ini menyebabkan semakin tinggi teknik modulasi yang digunakan (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) maka akan memberikan laju data yang semakin tinggi, dimana laju data maksimum terdapat pada kanal bandwidth 20 MHz untuk modulasi QPSK 28.8 Mbps, modulasi 16-QAM 57.686.4 Mbps dan modulasi 64-QAM 86.6 Mbps.
2. Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* sistem, dapat diketahui bahwa:
 - a) Besarnya *bandwidth* sistem pada kanal *bandwidth* tidak tergantung pada teknik modulasi yang digunakan.
 - b) Besarnya nilai *bandwidth* sistem yang paling besar adalah pada kanal *bandwidth* 20 MHz , yaitu sebesar 15.54 MHz, dan nilai yang paling kecil adalah pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz yaitu sebesar 0.92 MHz.
3. Berdasarkan hasil analisis perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* sistem, dapat diketahui bahwa:
 - a) Jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth* mempengaruhi besarnya nilai SNRsistem, karena semakin banyak *subcarrier* yang digunakan akan mengakibatkan daya terima pada *receiver* berkurang, sehingga nilai SNRsistem menurun.
 - b) Panjang durasi *cyclic prefix* (CP) yang digunakan akan mempengaruhi nilai SNRsistem dan menyebabkan penurunan SNRsistem. Hal ini dikarenakan pada sisi *receiver*, pemisahan CP menyebabkan rugi-rugi energy, oleh karena itu SNRsistem turun 7.28% (sebesar faktor CP) dari SNR yang tidak dipengaruhi CP.
 - c) Teknik modulasi 64-QAM memiliki nilai SNR sistem paling tinggi dibandingkan dengan modulasi lain. Dimana SNR sistem tertinggi yang dapat dicapai dengan teknik modulasi 64-QAM hingga 38.62 dB, 16-QAM hingga 34.31 dB dan QPSK hingga 31.00 dB (pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz).

4. Berdasarkan hasil analisis perhitungan Kapasitas Kanal sistem, dapat diketahui bahwa:
 - a) Besarnya kapasitas kanal dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan pada kanal *bandwidth*, sehingga kapasitas kanal meningkat seiring dengan bertambahnya *subcarrier* yang digunakan.
 - b) Teknik modulasi yang digunakan akan membawa laju data yang berbeda. Modulasi 64-QAM memiliki laju data yang paling besar, oleh karena itu modulasi 64-QAM memberikan kapasitas kanal yang paling besar jika dibandingkan dengan teknik modulasi lainnya.
 - c) Teknik modulasi 64-QAM akan memberikan kapasitas kanal yang paling besar hingga 74.42 Mbps, 16-QAM memberikan kapasitas kanal hingga 53.62 Mbps dan QPSK memberikan kapasitas kanal hingga 38.28 Mbps pada kanal *bandwidth* 20 MHz.
5. Berdasarkan hasil analisis perhitungan *Bit Error Rate* (BER) dapat diketahui bahwa:
 - a) Besarnya BER mengalami kenaikan seiring bertambahnya laju data. Hal ini dikarenakan semakin cepat laju data, maka *bit error* yg dihasilkan akan semakin banyak.
 - b) Dengan nilai BER yang kecil maka akan diperoleh kualitas sinyal yang lebih baik, dalam hal ini modulasi QPSK memberikan nilai BER paling baik jika dibandingkan modulasi lainnya hingga 2.88×10^{-16} hal ini yang berarti ketika 1×10^{16} *bit* ditransmisikan, hanya terdapat terdapat 3 *bit* yang *error*, modulasi 16-QAM memberikan nilai BER hingga 4.26×10^{-5} dan modulasi 64-QAM memberikan nilai BER hingga 3.12×10^{-2} .
6. Berdasarkan hasil analisis perhitungan nilai PAPR untuk sistem SC-FDMA dapat diketahui bahwa:
 - a) Nilai PAPR sistem, SC-FDMA jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan PAPR sistem OFDMA.
 - b) Semakin tinggi teknik modulasi yang digunakan akan berpengaruh pada nilai PAPR yang semakin tinggi juga. Hal ini ditunjukkan nilai PAPR untuk modulasi QPSK sebesar 0 dB, 16-QAM sebesar 2.55dB dan 64-QAM sebesar 3.68 dB.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut tentang analisis performansi LTE yaitu pada skripsi ini dapat dikembangkan dengan membahas dan mempertimbangkan kecepatan/pergerakan *user equipment* agar dapat terlihat pengaruh faktor lingkungan (efek *Doppler Shift*) terhadap performansi pada kanal *uplink Long Term Evolution* (LTE).



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. *Analisis Kinerja Long Term Evolution Arah Downlink pada Kanal Rayleigh* (Skripsi). Bandung-Indonesia: Telecommunication Institute of Technology
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking Second edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Hara, Shisuke and Ramjee Prasad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G Mobile Communications*. London : Artech House.
- Holma, Harry and Antti Toskala. 2007. *WCDMA for UMTS – HSPA evolution and LTE*. UK: British Library
- Holma, Harry and Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*. UK: British Library
- Hyung G. Myung, Junsung Lim, and David J. Goodman. September 2006. *Single Carrier FDMA a New Air Interface for LTE*. Michigan: Polytechnic University
- Hyung G. Myung, et al. 2006. *Peak to Average Power Ratio of SC-FDMA With Pulse Sampling* (White Paper). Brooklyn: Department of Electrical and Computer Engineering, Polytechnic University 5 MetroTech Center.
- Hyung G. Myung. 2007. *Single Carrier Orthogonal Multiple Technique for Broadband Wireless Communications* (Thesis). Michigan: Polytechnic University
- Hyung G. Myung. Mei 2008. *Single Carrier FDMA*. <http://www.3gpp.com>
- Hyung G. Myung. Mei 2008. *Technical Overview of 3GPP LTE*. <http://www.3gpp.com>
- IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. (2001, Jul.) Channel Models for Fixed Wireless Applications. [Online]. http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf
- Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communication*. New York: Cambridge University Press
- Khan, Farooq. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. New York: Cambridge University Press
- Lestari, Intan. 2010. *Performansi Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) Pada Mobile Wimax* (Skripsi). Malang-Indonesia: Brawijaya University.
- Long-Term Evolution Uplink*. EE359 Project. <http://www.3gpp.com/>.

LTE Specification Overview-3GPP Long Term Evolution (LTE). <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>

Modulation Roundup Error Rates Noise and Capacity. <http://www.eetimes.com/design/signal-processing-dsp/4017668/Modulation-roundup-error-rates-noise-and-capacity>

PT. IXIA. November 2009. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access in LTE.* Calabaras. <http://www.ixia.com/>.

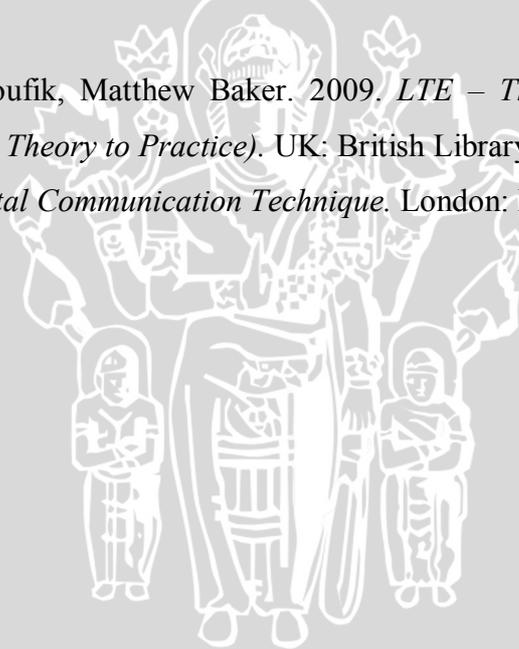
Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems.* London : Artech House.

Rumney, Moray. 2009. *3GPP LTE: Introducing Single Carrier FDM* (White Paper). Aligent Technology

Soltani,Nima. Desember 2009. *Comparison of Single-Carrier FDMA vs. OFDMA as 3GPP*

Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution (From Theory to Practice).* UK: British Library

Xiong, Fuqin. 2006. *Digital Communication Technique.* London: Boston.



LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Laju Data

```

m1=2;          %jumlah bit per simbol QPSK
m2=4;          %jumlah bit per simbol 16-QAM
m3=6;          %jumlah bit per simbol 64-QAM
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier masing-masing kanal Bw
s=13*1000;     %jumlah simbol per subframe (ms)
cp=0.0728;    %faktor cyclic prefix
pbr1=m1*N.*s*(1-cp)/1000000; %laju data QPSK
pbr2=m2*N.*s*(1-cp)/1000000; %laju data 16-QAM
pbr3=m3*N.*s*(1-cp)/1000000; %laju data 64-QAM
plot(N,pbr1,'-^red',N,pbr2,'-*blue',N,pbr3,'-oblack'); %menampilkan
grafik
grid on;      %memberikan garis putus-putus pada grafik
title('Grafik Laju Data Terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Laju Data (Mbps)');

```



LAMPIRAN 2

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Bandwidth Sistem

```

b1=2;          %jumlah bit per simbol QPSK
b2=4;          %jumlah bit per simbol 16-QAM
b3=6;          %jumlah bit per simbol 64-QAM
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier masing-masing kanal Bw
s=13*1000;     %jumlah simbol per subframe (ms)
cp=0.0728;    %faktor cyclic prefix
Rtot1=b1*N*s*(1-cp); %laju data QPSK
Rtot2=b2*N*s*(1-cp); %laju data 16-QAM
Rtot3=b3*N*s*(1-cp); %laju data 64-QAM
M1=4;         %nilai M untuk QPSK
M2=16;        %nilai M untuk 16-QAM
M3=64;        %nilai M untuk 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
system untuk QPSK
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
system untuk 16-QAM
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
system untuk 64-QAM
plot(N,Bwsistem1,'-^red',N,Bwsistem2,'-*blue',N,Bwsistem3,'-oblack');
hold on;
grid on;
title('Grafik Bandwidth Sistem Terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Bandwidth Sistem (MHz)');

```

LAMPIRAN 3

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Daya Terima Minimum

```

d0=100;           %jarak referensi pathloss 100m
d1=900;           %jarak transmitter ke receiver (m) 64-QAM
d2=1150;          %jarak transmitter ke receiver (m) 16-QAM
d3=1400;          %jarak transmitter ke receiver (m) QPSK
a=4;              %konstanta tipe terrain B
b=0.0065;         %konstanta tipe terrain B
c=17.1;           %konstanta tipe terrain B
f=2.6*10^9;       %frekuensi kerja LTE
pi=3.14;          %phi
hb=50;            %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;          %tinggi antena ue (m)
s=9.6;            %shadowing
C=3*10^8;         %cepat rambat gelombang
lamda=C/f;        %panjang gelombang di udara
A=20*log10(4*pi*lamda*d0); %PL Ref A
gamma1=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d1/d0); %eksponensial PL
gamma2=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d2/d0); %eksponensial PL
gamma3=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d3/d0); %eksponensial PL
PLf=6*log10(f/2000); %konstanta PL
PLh=-10.8*log10(hue/2); %konstanta PL
PL1=A+gamma1+s+PLh+PLf; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf; %PL QPSK
Pt=23;            %daya amplifier UE
Gt=0;             %gain antena UE
Gp=18;            %gain antena nodeB
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier
x=10.*log10(N);
Pr1=Pt+Gt+Gp-PL1-x; %daya terima minimum 64-QAM
Pr2=Pt+Gt+Gp-PL2-x; %daya terima minimum 16-QAM
Pr3=Pt+Gt+Gp-PL3-x; %daya terima minimum QPSK
plot(N,Pr3,'-^red',N,Pr2,'-*blue',N,Pr1,'-oblack');
hold on;
grid on;
title('Grafik Daya Terima Minimum terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Daya Terima Minimum (dBm)');

```

LAMPIRAN 4

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR sistem

```

d0=100;           %jarak referensi pathloss 100m
d1=900;           %jarak transmitter ke receiver (m) 64-QAM
d2=1150;          %jarak transmitter ke receiver (m) 16-QAM
d3=1400;          %jarak transmitter ke receiver (m) QPSK
a=4;              %konstanta tipe terrain B
b=0.0065;         %konstanta tipe terrain B
c=17.1;           %konstanta tipe terrain B
f=2.6*10^9;       %frekuensi kerja LTE
pi=3.14;          %phi
hb=50;            %tinggi antenna nodeB (m)
hue=1.5;          %tinggi antenna ue (m)
s=9.6;            %shadowing
C=3*10^8;         %cepat rambat gelombang
lamda=C/f;        %panjang gelombang di udara
A=20*log10(4*pi*lamda*d0); %PL Ref A
gamma1=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d1/d0); %eksponensial PL
gamma2=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d2/d0); %eksponensial PL
gamma3=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d3/d0); %eksponensial PL
PLf=6*log10(f/2000); %konstanta PL
PLh=-10.8*log10(hue/2); %konstanta PL
PL1=A+gamma1+s+PLh+PLf; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf; %PL QPSK
Pt=23;            %daya amplifier UE
Gt=0;             %gain antenna UE
Gp=18;            %gain antenna nodeB
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier pada masing-masing
kanal bandwidth
x=10.*log10(N);
Pr1=Pt+Gt+Gp-PL1-x; %daya terima minimum 64-QAM
Pr2=Pt+Gt+Gp-PL2-x; %daya terima minimum 16-QAM
Pr3=Pt+Gt+Gp-PL3-x; %daya terima minimum QPSK
b1=2;             %jumlah bit per simbol QPSK
b2=4;             %jumlah bit per simbol 16-QAM
b3=6;             %jumlah bit per simbol 64-QAM
s=13*1000;        %jumlah simbol per subframe (ms)
cp=0.0728;        %faktor cyclic prefix
Rtot1=b1*N*s*(1-cp); %laju data QPSK
Rtot2=b2*N*s*(1-cp); %laju data 16-QAM
Rtot3=b3*N*s*(1-cp); %laju data 64-QAM
M1=4;             %nilai M untuk QPSK
M2=16;            %nilai M untuk 16-QAM
M3=64;            %nilai M untuk 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
sistem untuk 64-QAM
NF=2;             %noise figure pada Node-B
Nawgn=10*log10(1.38*10^-23.*300); %white noise awgn

```

```

Nrf1=10.*Log10(Bwsistem1);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
QPSK
Nrf2=10.*Log10(Bwsistem2);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
16-QAM
Nrf3=10.*Log10(Bwsistem3);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
64-QAM
N01=Nawgn+Nrf1+NF;                   %noise saluran transmisi QPSK
N02=Nawgn+Nrf2+NF;                   %noise saluran transmisi 16-QAM
N03=Nawgn+Nrf3+NF;                   %noise saluran transmisi 64-QAM
SNR1=Pr3-N01;                         %SNR sistem QPSK tanpa CP
SNR2=Pr2-N02;                         %SNR sistem 16-QAM tanpa CP
SNR3=Pr1-N03;                         %SNR sistem 64-QAM tanpa CP
x1=10.^(SNR1/10);
x2=10.^(SNR2/10);
x3=10.^(SNR3/10);
SNRsistem1=(1-cp).*x1;
SNRsistem2=(1-cp).*x2;
SNRsistem3=(1-cp).*x3;
SNRdb1=10*log10(SNRsistem1);          %SNR sistem(dB)dengan cp QPSK
SNRdb2=10*log10(SNRsistem2);          %SNR sistem(dB)dengan cp 16-QAM
SNRdb3=10*log10(SNRsistem3);          %SNR sistem(dB)dengan cp 64-QAM
plot(N,SNR1,'-^black',N,SNR2,'-*black',N,SNR3,'-oblack',N,SNRdb1,'-
^red',N,SNRdb2,'-*blue',N,SNRdb3,'-ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik SNR Sistem terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('SNR system (dB)');

```



LAMPIRAN 5

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Kapasitas Kanal Sistem

```

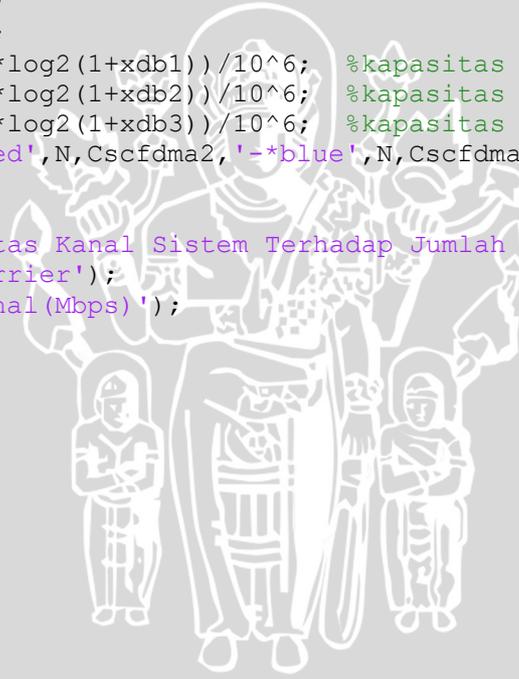
d0=100;           %jarak referensi pathloss 100m
d1=900;           %jarak transmitter ke receiver (m) 64-QAM
d2=1150;          %jarak transmitter ke receiver (m) 16-QAM
d3=1400;          %jarak transmitter ke receiver (m) QPSK
a=4;              %konstanta tipe terrain B
b=0.0065;         %konstanta tipe terrain B
c=17.1;           %konstanta tipe terrain B
f=2.6*10^9;       %frekuensi kerja LTE
pi=3.14;          %phi
hb=50;            %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;          %tinggi antena ue (m)
s=9.6;            %shadowing
C=3*10^8;         %cepat rambat gelombang
lamda=C/f;        %panjang gelombang di udara
A=20*log10(4*pi*lamda*d0); %PL Ref A
gamma1=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d1/d0); %eksponensial PL
gamma2=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d2/d0); %eksponensial PL
gamma3=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d3/d0); %eksponensial PL
PLf=6*log10(f/2000); %konstanta PL
PLh=-10.8*log10(hue/2); %konstanta PL
PL1=A+gamma1+s+PLh+PLf; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf; %PL QPSK
Pt=23;            %daya amplifier UE
Gt=0;             %gain antena UE
Gp=18;            %gain antena nodeB
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier pada masing-masing
kanal bandwidth
x=10.*log10(N);
Pr1=Pt+Gt+Gp-PL1-x; %daya terima minimum 64-QAM
Pr2=Pt+Gt+Gp-PL2-x; %daya terima minimum 16-QAM
Pr3=Pt+Gt+Gp-PL3-x; %daya terima minimum QPSK
b1=2;             %jumlah bit per simbol QPSK
b2=4;             %jumlah bit per simbol 16-QAM
b3=6;             %jumlah bit per simbol 64-QAM
s=13*1000;        %jumlah simbol per subframe (ms)
cp=0.0728;        %faktor cyclic prefix
Rtot1=b1*N*s*(1-cp); %laju data QPSK
Rtot2=b2*N*s*(1-cp); %laju data 16-QAM
Rtot3=b3*N*s*(1-cp); %laju data 64-QAM
M1=4;             %nilai M untuk QPSK
M2=16;            %nilai M untuk 16-QAM
M3=64;            %nilai M untuk 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
sistem untuk 64-QAM
NF=2;             %noise figure pada Node-B
Nawgn=10*log10(1.38*10^-23.*300); %white noise awgn

```

```

Nrf1=10.*Log10(Bwsistem1);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
QPSK
Nrf2=10.*Log10(Bwsistem2);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
16-QAM
Nrf3=10.*Log10(Bwsistem3);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
64-QAM
N01=Nawgn+Nrf1+NF;                    %noise saluran transmisi QPSK
N02=Nawgn+Nrf2+NF;                    %noise saluran transmisi 16-QAM
N03=Nawgn+Nrf3+NF;                    %noise saluran transmisi 64-QAM
SNR1=Pr3-N01;                          %SNR sistem QPSK tanpa CP
SNR2=Pr2-N02;                          %SNR sistem 16-QAM tanpa CP
SNR3=Pr1-N03;                          %SNR sistem 64-QAM tanpa CP
x1=10.^(SNR1/10);
x2=10.^(SNR2/10);
x3=10.^(SNR3/10);
SNRsistem1=(1-cp).*x1;
SNRsistem2=(1-cp).*x2;
SNRsistem3=(1-cp).*x3;
SNRdb1=10*log10(SNRsistem1);           %SNR sistem(dB) dengan cp QPSK
SNRdb2=10*log10(SNRsistem2);           %SNR sistem(dB) dengan cp 16-QAM
SNRdb3=10*log10(SNRsistem3);           %SNR sistem(dB) dengan cp 64-QAM
xdb1=10.^(SNRdb1/10);
xdb2=10.^(SNRdb2/10);
xdb3=10.^(SNRdb3/10);
Cscfdma1=(Bwsistem1.*log2(1+xdb1))/10^6; %kapasitas kanal QPSK
Cscfdma2=(Bwsistem2.*log2(1+xdb2))/10^6; %kapasitas kanal 16-QAM
Cscfdma3=(Bwsistem3.*log2(1+xdb3))/10^6; %kapasitas kanal 64-QAM
plot(N,Cscfdma1,'-^red',N,Cscfdma2,'-*blue',N,Cscfdma3,'-oblack');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Sistem Terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Kapasitas Kanal(Mbps)');

```



LAMPIRAN 6

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Eb/No

```

d0=100;           %jarak referensi pathloss 100m
d1=900;           %jarak transmitter ke receiver (m) 64-QAM
d2=1150;          %jarak transmitter ke receiver (m) 16-QAM
d3=1400;          %jarak transmitter ke receiver (m) QPSK
a=4;              %konstanta tipe terrain B
b=0.0065;         %konstanta tipe terrain B
c=17.1;           %konstanta tipe terrain B
f=2.6*10^9;       %frekuensi kerja LTE
pi=3.14;          %phi
hb=50;            %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;          %tinggi antena ue (m)
s=9.6;            %shadowing
C=3*10^8;         %cepat rambat gelombang
lamda=C/f;        %panjang gelombang di udara
A=20*log10(4*pi*lamda*d0); %PL Ref A
gamma1=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d1/d0); %eksponensial PL
gamma2=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d2/d0); %eksponensial PL
gamma3=10*(a-b*hb+c/hb).*log10(d3/d0); %eksponensial PL
PLf=6*log10(f/2000); %konstanta PL
PLh=-10.8*log10(hue/2); %konstanta PL
PL1=A+gamma1+s+PLh+PLf; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf; %PL QPSK
Pt=23;            %daya amplifier UE
Gt=0;             %gain antena UE
Gp=18;            %gain antena nodeB
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier pada masing-masing
kanal bandwidth
x=10.*log10(N);
Pr1=Pt+Gt+Gp-PL1-x; %daya terima minimum 64-QAM
Pr2=Pt+Gt+Gp-PL2-x; %daya terima minimum 16-QAM
Pr3=Pt+Gt+Gp-PL3-x; %daya terima minimum QPSK
b1=2;             %jumlah bit per simbol QPSK
b2=4;             %jumlah bit per simbol 16-QAM
b3=6;             %jumlah bit per simbol 64-QAM
s=13*1000;        %jumlah simbol per subframe (ms)
cp=0.0728;        %faktor cyclic prefix
Rtot1=b1*N*s*(1-cp); %laju data QPSK
Rtot2=b2*N*s*(1-cp); %laju data 16-QAM
Rtot3=b3*N*s*(1-cp); %laju data 64-QAM
M1=4;             %nilai M untuk QPSK
M2=16;            %nilai M untuk 16-QAM
M3=64;            %nilai M untuk 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
sistem untuk 64-QAM
NF=2;             %noise figure pada Node-B
Nawgn=10*log10(1.38*10^-23.*300); %white noise awgn

```

```

Nrf1=10.*Log10(Bwsistem1);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
QPSK
Nrf2=10.*Log10(Bwsistem2);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
16-QAM
Nrf3=10.*Log10(Bwsistem3);           %noise pada kanal Rayleigh Fading
64-QAM
N01=Nawgn+Nrf1+NF;                   %noise saluran transmisi QPSK
N02=Nawgn+Nrf2+NF;                   %noise saluran transmisi 16-QAM
N03=Nawgn+Nrf3+NF;                   %noise saluran transmisi 64-QAM
SNR1=Pr3-N01;                        %SNR sistem QPSK tanpa CP
SNR2=Pr2-N02;                        %SNR sistem 16-QAM tanpa CP
SNR3=Pr1-N03;                        %SNR sistem 64-QAM tanpa CP
x1=10.^(SNR1/10);
x2=10.^(SNR2/10);
x3=10.^(SNR3/10);
SNRsistem1=(1-cp).*x1;
SNRsistem2=(1-cp).*x2;
SNRsistem3=(1-cp).*x3;
SNRdb1=10*log10(SNRsistem1);         %SNR sistem(dB)dengan cp QPSK
SNRdb2=10*log10(SNRsistem2);         %SNR sistem(dB)dengan cp 16-QAM
SNRdb3=10*log10(SNRsistem3);         %SNR sistem(dB)dengan cp 64-QAM
Eb1=SNRdb1-10.*(Bwsistem1./Rtot1);   %Eb/No QPSK
Eb2=SNRdb2-10.*(Bwsistem2./Rtot2);   %Eb/No 16-QAM
Eb3=SNRdb3-10.*(Bwsistem3./Rtot3);   %Eb/No 64-QAM
plot(N,Eb1,'-^red',N,Eb2,'-*blue',N,Eb3,'-oblack');
hold on;
grid on;
title('Grafik Eb/No terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Eb/No (dB)');

```



LAMPIRAN 7

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem

```

BER1=[2.88*10^-16,8.74*10^-13,7.78*10^-11,3.44*10^-8,1.24*10^-6,
1.59*10^-5]; %BER QPSK
BER2=[4.26*10^-5,2.15*10^-4,5.43*10^-4,1.91*10^-3,4.05*10^-3,6.93*10^-
3]; %BER 16-QAM
BER3=[4.56*10^-3,8.4*10^-3,1.18*10^-2,1.9*10^-2,2.54*10^-2,3.12*10^-
2]; %BER 64-QAM
N=[72,180,300,600,900,1200]; %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth
plot(N,BER1,'-^red',N,BER2,'-*blue',N,BER3,'-oblack');
hold on;
grid on;
title('Grafik Bit Error Rate terhadap Jumlah Subcarrier');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('BER');

```

