

**PENGARUH PANJANG *CYCLIC PREFIX* TERHADAP
PERFORMANSI *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION*
MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA) PADA *LONG TERM EVOLUTION*
(LTE)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**PUTU LAKSMI MAS PRATIWI
NIM. 0810630018 – 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH PANJANG *CYCLIC PREFIX* TERHADAP PERFORMANSI *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)* PADA *LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

SKRIPSI KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

PUTU LAKSMI MAS PRATIWI
NIM. 0810630018 – 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing:

Ir. Endah Budi P., MT.

NIP. 19621116 198903 2 002

Ali Mustofa, ST., MT.

NIP. 19710601 200003 1 001

**PENGARUH PANJANG *CYCLIC PREFIX* TERHADAP PERFORMANSI
SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)
PADA *LONG TERM EVOLUTION (LTE)***

LEMBAR PENGESAHAN

Disusun Oleh :
PUTU LAKSMI MAS PRATIWI
NIM. 0810630018 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 20 Maret 2012

Majelis Penguji

Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 19710615 199802 1 003

M. Fauzan Edi P., ST., MT.
NIP. 19710609 200002 1 001

Ir. Erfan Achmad D., MT.
NIP. 19530714 198203 1 003

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

*“Tas widdhi pranipatena pariprasnena sewaya,
Upadeksyanti te jnanam jnaninas tattwa darsinah.”*

Belajarlah kebenaran kepada orang-orang bijaksana, bertanya dengan rendah hati dan memberikan pelayanan. Mereka akan memberikan pengetahuan itu kepadamu karena mereka telah

melihat kebenaran itu.

(Bhagawad Gita IV-34)



PENGANTAR

Segenap puji syukur penulis panjatkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan karunia yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* terhadap Performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada *Long Term Evolution (LTE)*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

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

1. Keluarga tercinta,
Ibu Luh Marheni, Ayah Gede Kendaliawan, adik-adikku, Made Dwi Mas Utami, Nyoman Dian Mas Yustika, Ketut Radha Mas Kristiani, dan Gede Satya Mas Gautama, serta tante saya, Luh Sidanti atas semua doa, kasih sayang, dan semangat yang telah diberikan tanpa henti. Ketika tidak ada lagi orang lain yang bisa dipercaya, keluarga adalah segalanya.
2. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
3. Bapak Dr. Ir. Sholeh Adi P., MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Adharul Muttaqin, ST., MT. selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
5. Bapak M. Fauzan Edi P., ST., MT. selaku Ketua Laboratorium Telekomunikasi dan Mas Iswanto, ST. selaku laboran.
6. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
7. Sahabat-sahabatku Risa Pradita, Jeffri Sindrian, Wahyu Priyo, Adhitya Yoga, dan seluruh keluarga besar angkatan 2008 (Concordes), terima kasih atas persahabatan, semangat, dan motivasi yang telah diberikan. Khusus untuk Dian Pramita dan Syailendra Dwitama, terima kasih banyak karena sudah hadir ketika semua orang tak bisa hadir.
8. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi '07 (Mbak Kecil, Mbak Devi, Mbak Utari, Mas Widhi, Mas Rony, Mas AW, Mas Reza, dan Mas

Yudho), '08 (Elsa, Nia, Angga, Pram, dan Riza), dan '09 (Alfi, Anisa, Dista, Jumi, Ardent, Pepy, dan Bayu) yang banyak memberikan nasehat, saran, serta kerjasamanya selama ini.

9. Teman-teman Kos Poharin D 177 B, Nita, Made, Tara, Ester, Cerry, Popy, Elies, dan Ikke, terima kasih atas semangat dan dukungan yang telah diberikan.
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, Maret 2012

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	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Long Term Evolution (LTE)</i>	5
2.2 Arsitektur Jaringan LTE.....	7
2.3 Protokol Jaringan LTE.....	12
2.4 <i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)</i>	14
2.5 SC-FDMA pada LTE.....	16
2.5.1 Struktur <i>Frame</i> LTE	16
2.5.2 <i>Resource Block</i>	17
2.5.3 <i>SC-FDMA Signal Processing</i>	18
2.5.3.1 Konversi Serial ke Paralel (S/P)	20
2.5.3.2 DFT dan IDFT	20
2.5.3.3 <i>Subcarrier Mapping</i>	21
2.5.3.4 <i>Cyclic Prefix (CP)</i>	22
2.5.4 Modulasi Adaptif	24
2.6 Kanal Propagasi	28
2.6.1 Kanal AWGN	30



2.6.2	Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	31
2.7	Model Propagasi	31
2.7.1	Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i>	32
2.7.2	Karakteristik Model Propagasi Okumura-Hata	33
2.8	Performansi Sistem SC-FDMA	34
2.8.1	<i>Peak Bit Rate</i>	34
2.8.2	Rugi-rugi Propagasi <i>Non -Line of Sight (NLOS)</i>	35
2.8.3	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	37
2.8.4	Kapasitas Kanal Sistem	38
2.8.5	<i>Energi Bit-to-Noise Ratio</i>	39
2.8.6	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		42
3.1	Studi Literatur	42
3.2	Pengambilan Data	42
3.3	Perhitungan dan Analisis Data.....	43
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Umum	48
4.2	Analisis Pengaruh Panjang <i>Cyclic Prefix</i> Terhadap Performansi <i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)</i> pada <i>Long Term Evolution (LTE)</i>	48
4.2.1	Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem SC-FDMA pada Kanal <i>Uplink Long Term Evolution (LTE)</i> dengan <i>Cyclic Prefix</i>	51
4.2.2	Analisis <i>Signal-to-Noise Ratio</i> Sistem SC-FDMA pada Kanal <i>Uplink Long Term Evolution (LTE)</i> dengan <i>Cyclic Prefix</i>	59
4.2.3	Analisis Kapasitas Kanal Sistem SC-FDMA pada Kanal <i>Uplink Long Term Evolution (LTE)</i> dengan <i>Cyclic Prefix</i>	67
4.2.4	Analisis BER Sistem SC-FDMA pada Kanal <i>Uplink Long Term Evolution (LTE)</i> dengan <i>Cyclic Prefix</i>	69
BAB V PENUTUP		77
5.1	Kesimpulan	77



5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	81

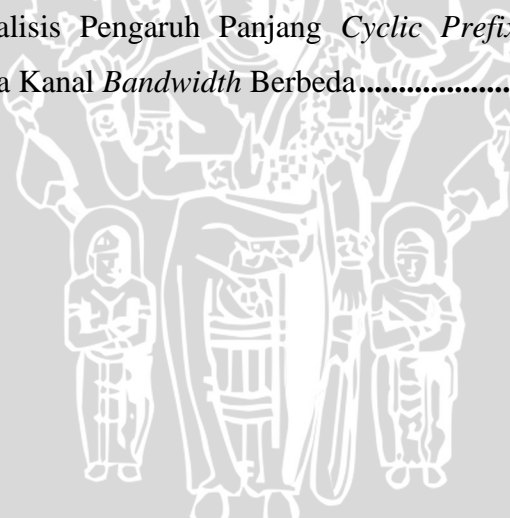


DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Targe Performansi Teknologi LTE.....	5
Gambar 2.2 Skema <i>Multiple Access</i> LTE.....	6
Gambar 2.3 Arsitektur Jaringan LTE	8
Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan LTE	8
Gambar 2.5 Radio Protokol <i>Stack</i> LTE	12
Gambar 2.6(a) <i>Control Plane Protocol Stack</i>	13
Gambar 2.6(b) <i>User Plane Protocol Stack</i>	13
Gambar 2.7 Struktur Layer 2 pada <i>Uplink</i>	14
Gambar 2.8 Perbandingan Transmisi Simbol Data QPSK pada Teknologi OFDMA dan SC-FDMA	15
Gambar 2.9 Pembagian Aliran Data.....	15
Gambar 2.10 Struktur <i>Frame</i> LTE	17
Gambar 2.11 <i>Resource Block</i> pada Kanal <i>Uplink</i> LTE	18
Gambar 2.12 <i>Bandwidth Configure</i>	19
Gambar 2.13 Struktur <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> pada SC-FDMA	20
Gambar 2.14 Struktur <i>Receiver</i> SC-FDMA pada Sisi <i>Uplink</i>	20
Gambar 2.15 Metode <i>Subcarrier Mapping</i>	22
Gambar 2.16 <i>Subcarrier Mapping</i> untuk LFDMA dan DFDMA	22
Gambar 2.17 Penggunaan <i>Cyclic Prefix</i> untuk Menghindari Terjadinya <i>Inter-Symbol Interference</i>	23
Gambar 2.18 <i>Short</i> dan <i>Extended Cyclic Prefix</i>	23
Gambar 2.19 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK	25
Gambar 2.20(a) QPSK Modulator	25
Gambar 2.20(b) QPSK Demodulator	25
Gambar 2.21 Sinyal pada <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK)	26
Gambar 2.22(a) Diagram Konstelasi 16-QAM.....	27
Gambar 2.22(b) Diagram Konstelasi 64-QAM.....	27
Gambar 2.23(a) QAM Modulator	28
Gambar 2.23(b) QAM Demodulator.....	28
Gambar 2.24 Hubungan Radius Jarak Jangkauan dengan Sistem Modulasi.....	28
Gambar 2.25 Proses Terjadinya <i>Multipath Fading</i>	29



Gambar 2.26	<i>Additive White Gaussian Noise (AWGN)</i>	30
Gambar 2.27	<i>Kanal Rayleigh Fading</i>	31
Gambar 3.1	Blok Diagram Analisis Sistem SC-FDMA	44
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan <i>Bandwidth</i> Sistem	44
Gambar 3.3	Digram Alir Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i> Sistem.....	45
Gambar 3.4	Digram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem	46
Gambar 3.5	Diagram Alir Perhitungan <i>Bit Error Rate (BER)</i> Sistem	47
Gambar 4.1	Grafik Analisis Pengaruh Panjang <i>Cyclic Prefix</i> Terhadap <i>Bandwidth</i> Sistem pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda	58
Gambar 4.2	Grafik Analisis Hubungan Daya Terima Minimum dengan Jumlah <i>Subcarrier</i>	62
Gambar 4.3	Garfik Analisis Pengaruh Panjang <i>Cyclic Prefix</i> Terhadap SNR Sistem pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda.....	66
Gambar 4.4	Grafik Analisis Pengaruh Panjang <i>Cyclic Prefix</i> Terhadap Kapasitas Kanal Sistem pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda	68
Gambar 4.5	Grafik Analisis Pengaruh Panjang <i>Cyclic Prefix</i> Terhadap BER Sistem pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda.....	73



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis LTE.....	7
Tabel 2.2 Simbol-simbol pada Kanal <i>Uplink</i> LTE	17
Tabel 2.3 Karakteristik <i>Resource Block</i> pada Kanal <i>Bandwidth</i> yang Berbeda	18
Tabel 2.4 Spesifikasi LTE untuk Model Propagasi Okumura-Hata	34
Tabel 2.5 Parameter untuk Tipe <i>Terrain</i> yang Berbeda	36
Tabel 4.1 Karakteristik LTE pada Kanal <i>Bandwidth</i> yang Berbeda.....	49
Tabel 4.2 Hasil Analisis Laju Data	50
Tabel 4.3 Hasil Analisis Laju Data	52
Tabel 4.4 Hasil Analisis Durasi Simbol Masing-masing <i>Subcarrier</i>	53
Tabel 4.5 Hasil Analisis Durasi <i>Subcarrier</i>	54
Tabel 4.6 Hasil Analisis <i>Bandwidth</i> Masing-masing <i>Subcarrier</i>	55
Tabel 4.7 Hasil analisis <i>Bandwidth</i> Sistem pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda dengan Panjang CP Berbeda.....	56
Tabel 4.8 Hasil Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem dan <i>Bandwidth Configure</i> pada Kanal <i>Bandwidth</i> Berbeda dengan Panjang CP Berbeda.....	57
Tabel 4.9 Spesifikasi Teknis untuk Model Propagasi Okumura-Hata.....	59
Tabel 4.10 LTE <i>Operating Range</i> (<i>Sub-Urban</i>)	60
Tabel 4.11 Hasil Analisis Rugi-rugi Propagasi NLOS	61
Tabel 4.12 Hasil Analisis Daya Terima Minimum pada <i>Receiver</i>	61
Tabel 4.13 Hasil Analisis Daya <i>Noise</i> pada Tiap Kanal <i>Bandwidth</i>	63
Tabel 4.14 Hasil Analisis SNR pada Tiap Kanal <i>Bandwidth</i>	64
Tabel 4.15 Hasil Analisis SNR Sistem pada Tiap Kanal <i>Bandwidth</i>	65
Tabel 4.16 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Sistem pada Tiap Kanal <i>Bandwidth</i> dengan CP berbeda	68
Tabel 4.17 Hasil Analisis Eb/No	70
Tabel 4.18 Hasil Analisis BER Sistem pada Tiap Kanal <i>Bandwidth</i>	73

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1 <i>Listing Program Matlab Menghitung Bandwidth Sistem</i>	82
Lampiran 2 <i>Listing Program Matlab Menghitung SNR Sistem</i>	83
Lampiran 3 <i>Listing Program Matlab Menghitung Kapasitas Kanal Sistem</i>	86
Lampiran 4 <i>Listing Program Matlab Menghitung BER Sistem</i>	89



ABSTRAK

PUTU LAKSMI MAS PRATIWI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2012, *Pengaruh Panjang Cyclic Prefix Terhadap Performansi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Long Term Evolution (LTE)*, Dosen Pembimbing: **Ir. Endah Budi P., MT.** dan **Ali Mustofa, ST., MT.**

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi yang dikeluarkan oleh 3GPP yang merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu *High Speed Packet Access (HSPA)*. Pada sisi *uplink*, LTE menggunakan teknik *multiple acces Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*. Kelemahan dari teknik *multiple access* ini adalah timbulnya interferensi berupa *intersymbol interference (ISI)* dan untuk mengatasinya, dalam sistem ditambahkan *cyclic prefix*.

Hal yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi SC-FDMA pada LTE dengan menganalisis parameter performansi yaitu parameter *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Dimana panjang durasi *cyclic prefix* yang digunakan ada dua, yaitu normal *cyclic prefix* dengan durasi 5,21 μs dan *extended cyclic prefix* dengan durasi 16,67 μs . Tujuan penelitian ini adalah untuk kajian analisis pengaruh panjang *cyclic prefix* yang digunakan terhadap performansi SC-FDMA pada LTE.

Dari hasil analisis didapatkan bahwa performansi SC-FDMA pada LTE lebih baik saat menggunakan normal *cyclic prefix*. Nilai *bandwidth* sistem terbesar 7,2051 MHz didapatkan saat menggunakan normal *cyclic prefix*, sedangkan saat menggunakan *extended cyclic prefix* sebesar 7,2036 MHz. SNR sistem terbesar saat menggunakan normal *cyclic prefix* sebesar 41,7403 dB dan saat menggunakan *extended cyclic prefix* sebesar 41,099 dB. Kapasitas kanal sistem saat menggunakan normal *cyclic prefix* sebesar 41,7058 Mbps dan saat menggunakan *extended cyclic prefix* sebesar 40,1965 Mbps. Nilai BER paling besar saat menggunakan normal *cyclic prefix* sebesar $1,87 \times 10^{-2}$ dan saat menggunakan *extended cyclic prefix* sebesar $2,08 \times 10^{-2}$.

Kata Kunci : SC-FDMA, LTE, normal *cyclic prefix*, *extended cyclic prefix*, *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, BER

ABSTRACT

PUTU LAKSMI MAS PRATIWI, Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, March 2012, *Effect of the Long of Cyclic Prefix in Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) Performance in Long Term Evolution (LTE)*, Academic Supervisor : **Ir. Endah Budi Purnomo MT. and Ali Mustofa ST., MT.**



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang telekomunikasi terjadi begitu cepat dewasa ini. Penggunaan teknologi telekomunikasi untuk komunikasi bergerak tidak lagi berada pada generasi ketiga atau 3G. Standar teknologi terbarunya dikenal dengan nama *beyond 3G* (B3G). Standar ini mengarah pada standar teknologi keempat atau 4G. Salah satu teknologi terbaru yang masuk ke dalam standar B3G adalah *Long Term Evolution* (LTE).

Penggunaan layanan telekomunikasi saat ini tidak lagi terbatas pada layanan pesan dan suara saja. LTE memberikan banyak keuntungan bagi pengguna layanan komunikasi data. Pada bulan Desember 2008, *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) 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, meminimalkan *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)

Teknologi SC-FDMA yang digunakan pada sisi *uplink* LTE merupakan teknik *multiple access* modifikasi dari *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Setelah dilakukan pentransmisian 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). Selain itu, pada sistem SC-FDMA juga terdapat gangguan yang disebut dengan

Intercarrier Interference yang menyebabkan menurunnya kapasitas kanal, *bit error rate* (BER) sistem bertambah sehingga menyebabkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) menurun. Oleh karena itu, pada setiap simbol SC-FDMA ditambahkan *cyclic prefix* (CP) untuk menghindari terjadinya ISI. 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 dan ICI. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga berbeda-beda. Panjang CP yang berbeda-beda ini akan mempengaruhi beberapa parameter performansi dari sistem SC-FDMA pada LTE. Parameter-parameter yang akan terpengaruh diantaranya yaitu *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Berdasarkan alasan tersebut, penulis menganalisis pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi sistem SC-FDMA pada LTE yang terdiri dari beberapa parameter yaitu *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Yang mana teknik modulasi yang digunakan adalah teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Sehingga dapat diketahui panjang *cyclic prefix* yang terbaik untuk performansi sistem SC-FDMA pada LTE. Selain itu, skripsi ini merupakan pengembangan dari skripsi sebelumnya karya Utari Dwi Surya dengan judul Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* terhadap Kinerja *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada *Mobile WiMAX* dan skripsi dari Atikah Sayidah Zuhro dengan judul Performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada Kanal *Uplink Long Term Evolution* (LTE).

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) terhadap performansi *bandwidth* LTE (*Long Term Evolution*)?
2. Bagaimana pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) terhadap performansi SNR (*Signal to Noise Ratio*) LTE (*Long Term Evolution*)?
3. Bagaimana pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) terhadap performansi kapasitas kanal LTE (*Long Term Evolution*)?

4. Bagaimana pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) terhadap performansi BER (*Bit Error Rate*) LTE (*Long Term Evolution*)?

1.3. Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka pembahasan dibatasi pada :

1. Standarisasi teknologi LTE mengacu pada 3GPP *release 8*,
2. Teknik pentransmisi pada kanal *uplink* LTE menggunakan teknologi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*,
3. Menggunakan enam simbol per 1 ms *subframe*,
4. Analisis transmisi data pada kanal *uplink*,
5. Performansi sistem SC-FDMA yang akan dibahas berupa parameter *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER,
6. Tipe modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM,
7. Kanal *noise* yang digunakan untuk uji performansi sistem SC-FDMA menggunakan model propagasi Okumura-Hata dengan kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* dan kanal *Rayleigh Fading*,
8. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software Matlab 7.1.0.246 (R14).

1.4. Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) LTE (*Long Term Evolution*) pada proses *uplink* dengan menganalisis parameter jaringan meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori-teori tentang LTE (*Long Term Evolution*) dimana LTE yang digunakan sebagai acuan adalah LTE yang dikeluarkan oleh 3GPP

yaitu LTE *release* 8. Teori tentang LTE diantaranya yaitu penjelasan LTE secara umum, spesifikasi teknis LTE, arsitektur jaringan LTE, protokol jaringan LTE.

Memuat juga teori tentang SC-FDMA yaitu SC-FDMA secara umum, penerapan teknologi SC-FDMA pada LTE seperti struktur *frame* dan *signal processing* pada teknologi SC-FDMA LTE, serta cara perhitungan parameter performansi pada SC-FDMA LTE.

BAB III : METODOLOGI

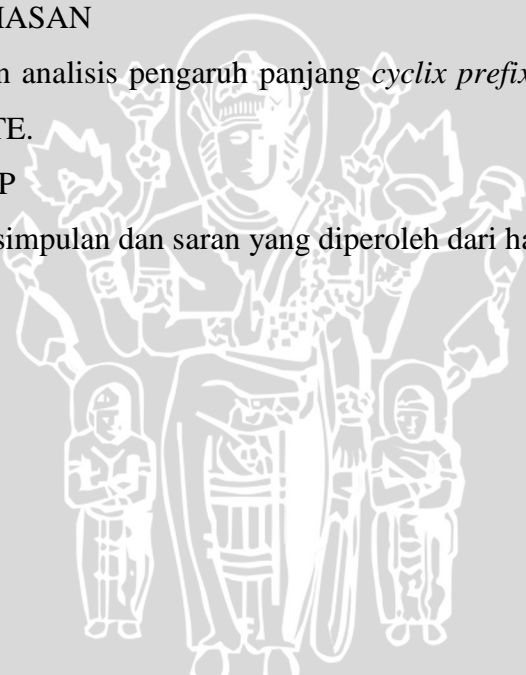
Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam mengkaji analisis performansi SC-FDMA LTE ketika dilakukan penambahan panjang *cyclic prefix* yang terdiri dari metode pengambilan data, dan analisis data serta kesimpulan.

BAB IV : PEMBAHASAN

Melakukan analisis pengaruh panjang *cyclic prefix* pada teknologi SC-FDMA LTE.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil perhitungan dan analisis.

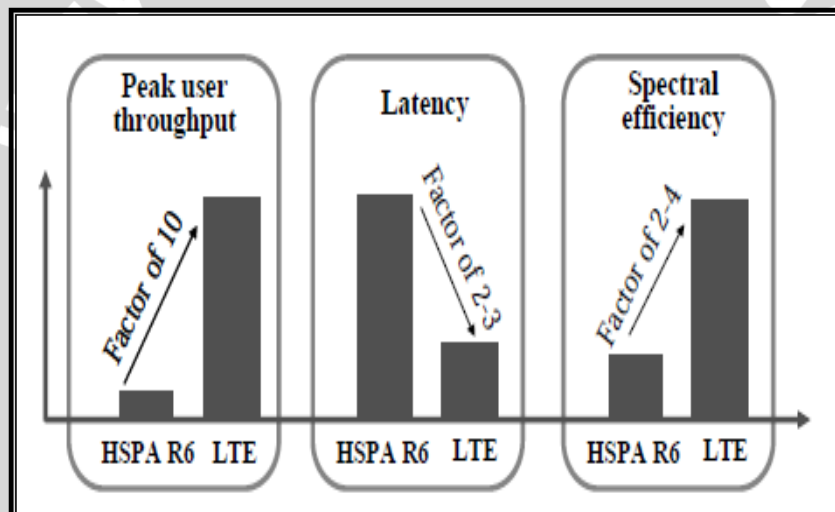


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

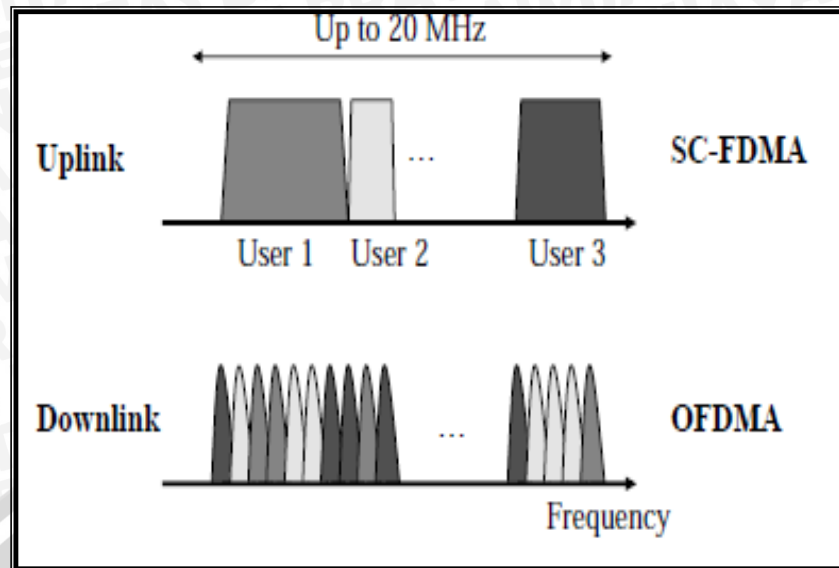
2.1 Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution (LTE) adalah teknologi yang dikeluarkan oleh *3rd generation partnership project* (3GPP). LTE mulai dikembangkan pada tahun 2004 dan merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yakni *High Speed Packet Access* (HSPA). LTE dirancang untuk mencapai target performansi melebihi HSPA dalam hal efisiensi *spectrum* frekuensi, kecepatan mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*, dan *latency* yang lebih rendah dibandingkan dengan HSPA. (Harri Holma 2009)



Gambar 2.1 Target Performansi Teknologi LTE
(Sumber: Harri Holma, 2009)

LTE menggunakan dua teknik *multiple access*, yaitu pada sisi *downlink* menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) dan pada sisi *uplink* menggunakan teknik *multiple access Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Kedua teknik *multiple access* yang digunakan memberikan keorthogonalan antar *user*, mengurangi interferensi, serta mampu meningkatkan kapasitas kanal. Alokasi domain frekuensinya sebesar 180 kHz di sisi *uplink* dan *downlink*. (Harri Holma, 2009)



Gambar 2.2 Skema *Multiple Access LTE*
(Sumber: Harri Holma, 2009)

Kapasitas jaringan yang besar akan menambah efisiensi dari arsitektur jaringan. Target dari LTE *release 8* ini adalah meningkatkan *scalability* dari jaringan untuk meningkatkan *traffic* dan mengurangi *end-to-end latency* jumlah elemen jaringan. (Harri Holma, 2009)

Teknologi radio akses LTE harus dioptimalkan untuk trafik *packet switched* dengan kecepatan data yang tinggi dan *latency* yang rendah. Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi teknis untuk teknologi LTE. Alokasi kanal *bandwidth* yang disediakan untuk LTE memiliki rentang dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 Mhz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. Dengan masing-masing jumlah *subcarrier* tiap kanal *bandwidth* yaitu: 72, 180, 300, 600, 900, dan 1200.

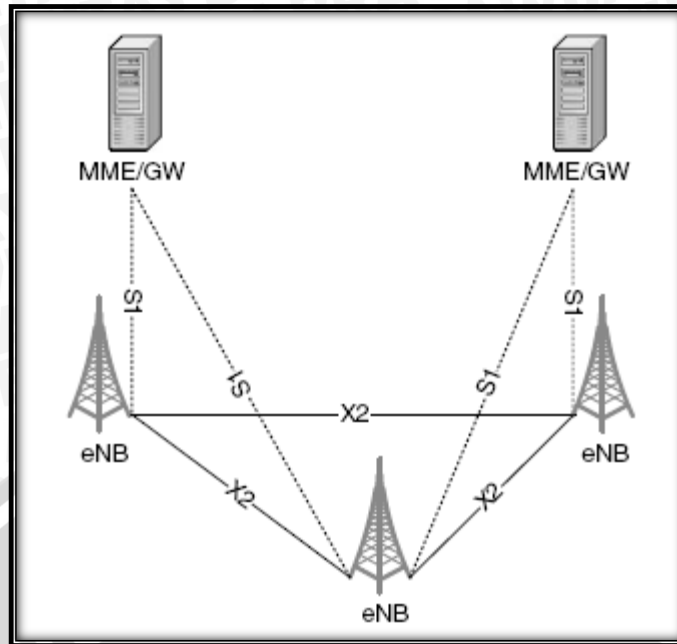
Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis LTE

Parameter Spesifikasi Teknis	Jenis/Nilai
<i>Peak data rates</i>	100 Mbit/s for downlink; 50 Mbit/s for uplink
<i>Average user throughput per MHz than HSPA Release 6</i>	3-4 higher for downlink; 2-3 higher for uplink
<i>Mobility</i>	0-15 km/h (optimum); 15-120 km/h (high performance guaranteed); 120-350 km/h (connection maintained)
<i>Bandwidth</i>	1,4-20 MHz
<i>Spectrum allocation</i>	Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported
<i>Multiple access</i>	OFDMA (downlink) SC-FDMA (uplink)
MIMO	Downlink 2x2, 4x2, 4x4 Uplink 1x2, 1x4
<i>Modulation</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM

(Sumber: Stefania Sesia, 2009)

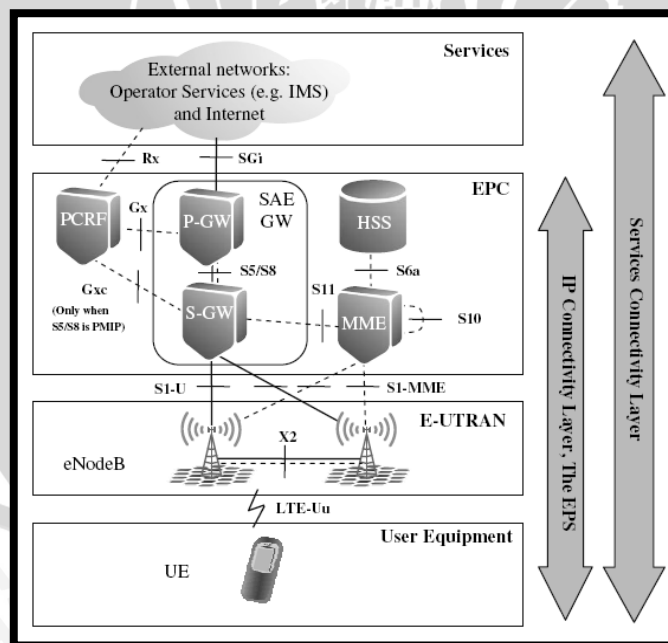
2.2 Arsitektur Jaringan LTE

Arsitektur jaringan LTE didesain dengan tujuan mendukung layanan *packet-switched* dengan mobilitas tanpa batas, *quality of service* yang baik, dan *latency* seminimal mungkin. *Packet switched* yang digunakan mampu mendukung semua layanan termasuk layanan suara. Secara singkat, jaringan LTE terdiri dari dua *node* yang disebut dengan *evolved Node-B* (eNB) dan *mobility management entity/gateway* (MME/GW). Hal utama yang dihilangkan dari teknologi sebelumnya yaitu *radio network controller* (RNC) dari jalur data dan fungsinya digabung dengan eNB. Dengan menggabungkan beberapa fungsi jaringan menjadi satu titik, dapat mengurangi *latency*. (Farooq Khan, 2009)



Gambar 2.3 Arsitektur Jaringan LTE
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

Semua *interface* jaringan LTE menggunakan *IP protocol*. Secara garis besar, arsitektur jaringan LTE dibagi ke dalam empat bagian utama. Diantaranya yaitu: *user equipment* (UE), *evolved UTRAN* (E-UTRAN), *evolved packet core network* (EPC), dan yang terakhir *service domain*.



Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan LTE
(Sumber: Hari Holma, 2009)

UE, E-UTRAN, dan EPC terhubung dalam *internet protocol* (IP) layer, yang disebut juga dengan *evolved packet system* (EPS). Fungsi utama dari layer ini adalah

untuk menyediakan konektivitas berbasis IP, dan sangat dioptimalkan penyampaian data pada tujuan saja.

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.

a) *User Equipment* (UE)

UE adalah perangkat yang digunakan pelanggan untuk berkomunikasi. Fungsinya adalah sebagai *platform* untuk aplikasi komunikasi, dimana sinyal dengan jaringan yang mengatur sambung dan putusnya *link* komunikasi yang dibutuhkan pelanggan. UE biasanya sebuah perangkat seperti ponsel pintar, laptop ataupun kartu data seperti yang digunakan saat ini dalam 2G dan 3G. UE juga berisi *Universal Subscriber Identity Module* (USIM). (Harri Holma, 2009)

b) **E-UTRAN Node B (eNode-B)**

Satu-satunya node pada E-UTRAN adalah eNode-B, merupakan *Base station* yang mengendalikan semua fungsi radio yang terkait dengan bagian tetap dari sistem. *Base station* seperti eNode-B biasanya didistribusikan di seluruh wilayah cakupan jaringan. Desain eNode-B mencakup *layer PHYSICAL* (PHY), *Medium Access Control* (MAC), *Radio Link Control* (RLC), dan *Packet Data Control Protocol* (PDCP). eNode-B juga menawarkan fungsi *Radio Resource Control* (RRC) pada *control plane*.

Fungsi eNode-B bertindak sebagai jembatan antara UE dan EPC, dengan menjadi titik penghentian semua protokol radio yang menuju kesana, dan menyampaikan data antara sambungan radio dan konektivitas berbasis IP ke EPC. eNode-B melakukan *ciphering/deciphering* pada data *user plane* dan juga *compression/decompression header* IP. eNode-B juga bertanggung jawab untuk banyak fungsi *control plane*, bertanggung jawab atas *Radio Resource Management* (RRM) yaitu mengendalikan penggunaan *interface* radio, misalnya mengalokasikan *resources* berdasarkan permintaan, prioritas dan penjadwalan trafik menurut syarat QoS, dan pemantauan situasi penggunaan *resource*. (Harri Holma, 2009)

c) Mobility Management Entity (MME)

MME adalah elemen kontrol utama di EPC yang memproses sinyal antara UE dan EPC. Protokol yang berjalan antara UE dan EPC dikenal sebagai protokol *Non-Access Stratum* (NAS). MME beroperasi dalam *control plane*, dan tidak terlibat dalam jalur data *user plane*.

MME memiliki koneksi *control plane* langsung ke UE, dan koneksi ini digunakan sebagai saluran kontrol utama antara UE dan *network*, selain itu fungsi MME antara lain adalah: *Authentication and security user* dengan berkerjasama dengan HSS, *Mobility Management* (MM) untuk menyediakan fungsi *control plane* untuk mobilitas antara jaringan LTE dengan jaringan 2G/3G, *Managing Subscription Profile* dan *Service connectivity*. (Harri Holma, 2009)

d) Service Gateway (S-GW)

Semua paket IP yang dikirim oleh UE akan dikirim melalui S-GW, yang melayani mobilitas lokal untuk data *bearers* ketika UE bergerak diantara eNode-B. S-GW juga menyimpan informasi *bearers* ketika UE dalam keadaan *idle state* atau biasa disebut CMIIDLE dan sebagai *buffer* data *downlink* ketika MME memulai *paging* dan saat UE membangun kembali *bearer*, S-GW juga melakukan beberapa fungsi administratif dalam *network*, seperti mengumpulkan informasi (volume data yang dikirim dan diterima UE). S-GW juga berfungsi sebagai *mobility anchor* untuk *user plane* selama *handover* antara eNode-B pada jaringan LTE dan *inter-working* dengan teknologi 3GPP lain seperti UMTS dan GPRS. (Harri Holma, 2009)

e) Packet Data Network Gateway (P-GW)

P-GW atau biasa disebut PDN-GW adalah batas *router* antara EPS dan *external packet data network*. P-GW merupakan level tertinggi mobilitas dari suatu sistem. P-GW bertanggung jawab untuk pengalokasian *IP address* untuk UE, serta penentuan QoS serta aliran berdasarkan *charging* yang sesuai dengan aturan dari PCRF. P-GW juga bertanggung jawab sebagai *filtering* paket *downlink* UE IP ke dalam QoS *bearer* yang berbeda. S-GW juga berfungsi sebagai *mobility anchor* untuk *inter-working* dengan teknologi lain yang bukan dari 3GPP lain seperti jaringan CDMA 2000 dan Wi-Max. (Harri Holma, 2009)

f) Policy and Charging Resource Function (PCRF)

PCRF adalah elemen *network* yang bertanggung jawab untuk *Policy and Charging Control* (PCC). PCRF membuat keputusan untuk menangani layanan sesuai dengan QoS, menyediakan informasi kepada *Policy Control Enforcement Function*

(PCEF) yang berlokasi di P-GW, dan dapat juga diaplikasikan BBERF yang berlokasi di S-GW, menyediakan *bearer* yang cocok dan bertanggung jawab untuk mengontrol kebijakan pembuatan keputusan, dan juga untuk mengontrol kemampuan aliran berdasarkan profil UE. PCRF memberikan otorisasi untuk menentukan bagaimana sebuah aliran data tertentu yang akan diperlakukan di PCEF dan memastikan bahwa ini sesuai dengan UE. PCRF adalah bagian dari struktur PCC. PCRF merupakan *server* yang biasa ditempatkan dengan elemen CN lainnya pada operator *switching center*. (Harri Holma, 2009)

g) Home Subscription Server (HSS)

HSS adalah tempat penyimpanan data *subscription* (langganan) untuk data semua *user* tetap. HSS juga mencatat lokasi *user* pada *level visitor control node*, seperti MME. HSS merupakan *server database* yang dipelihara secara terpusat pada tempat operator asal. HSS menyimpan salinan *master user profile*, yang berisi informasi tentang layanan-layanan yang dapat diaplikasikan ke pelanggan, termasuk informasi mengenai koneksi PDN yang diperbolehkan, dan apakah *roaming* ke *network* tertentu boleh dikunjungi atau tidak. (Harri Holma, 2009)

h) Service Domain

Service domain mencakup berbagai *sub-sistem*, yang didalamnya terdiri dari beberapa *logical node*. Beberapa jenis layanan yang tersedia dan dekripsi singkat tentang infrastruktur yang akan dibutuhkan antara lain: (Harri Holma, 2009)

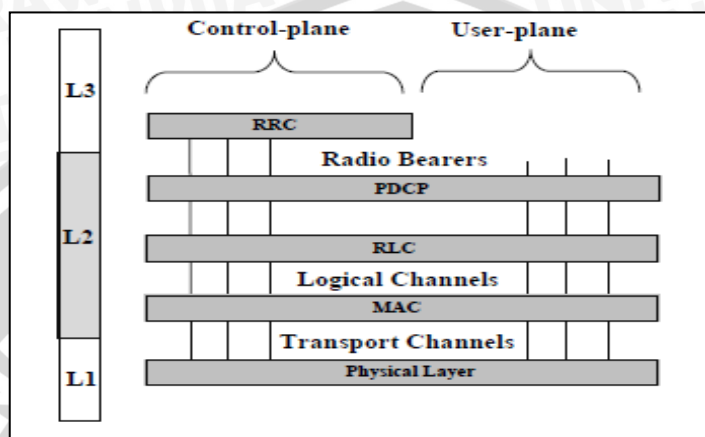
- IMS berbasis *operator service: IP Multimedia Sub-system* (IMS) adalah layanan operator mesin yang dapat digunakan untuk memberikan layanan menggunakan *Session Initiation Protocol* (SIP).
- Non-IMS berbasis *operator service*: arsitektur untuk Non-IMS berbasis *operator service* tidak didefinisikan secara standar. Operator mungkin hanya menempatkan *server* ke dalam *network* mereka, dan UE terhubung melalui beberapa protokol yang telah disetujui yang didukung oleh aplikasi di UE. Layanan *video streaming* yang disediakan oleh server *video streaming* adalah salah satu contoh.

Layanan yang tidak disediakan oleh operator jaringan seluler misalnya layanan yang disediakan melalui internet: arsitektur ini tidak ditangani oleh standar 3GPP, dan arsitektur tergantung pada layanan yang bersangkutan. Tipe konfigurasi akan

menghubungkan UE ke *server* di internet, misalnya ke *server-web* untuk layanan *browsing web*, atau ke server SIP untuk layanan telepon internet (yaitu VoIP).

2.3. Protokol Jaringan LTE

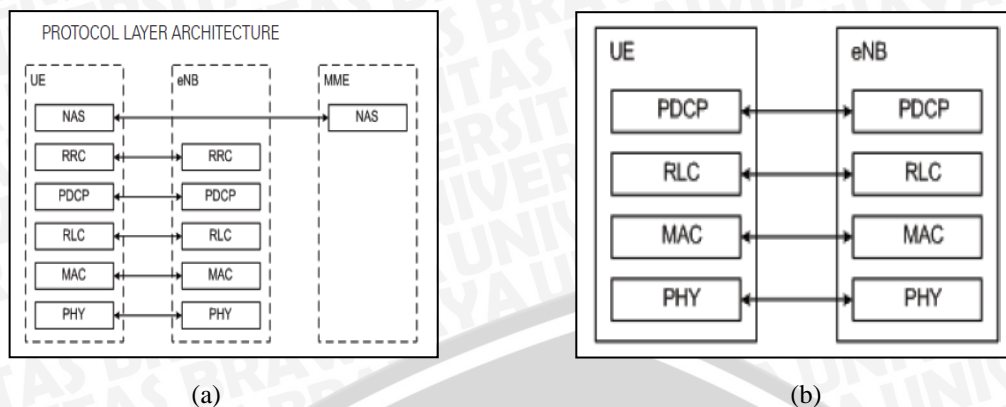
Arsitektur protokol pada LTE terbagi atas protokol *stack Control Plane* dan *User Plane* (UP), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Radio Protokol Stack LTE
(Sumber: Hari Holma, 2009)

Peranan dari *interface* radio protokol LTE adalah untuk *set up*, konfigurasi 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 *control plane*. (Harri Holma, 2009)

Pada *control plane*, 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, *broadcasting* sistem informasi, mengontrol perhitungan laporan UE seperti laporan *Channel of Quality Information* (CQI) dan mengalokasikan identitas tingkat sel sementara untuk UE yang aktif. *RRC layer* juga mengeksekusi pengiriman 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*.



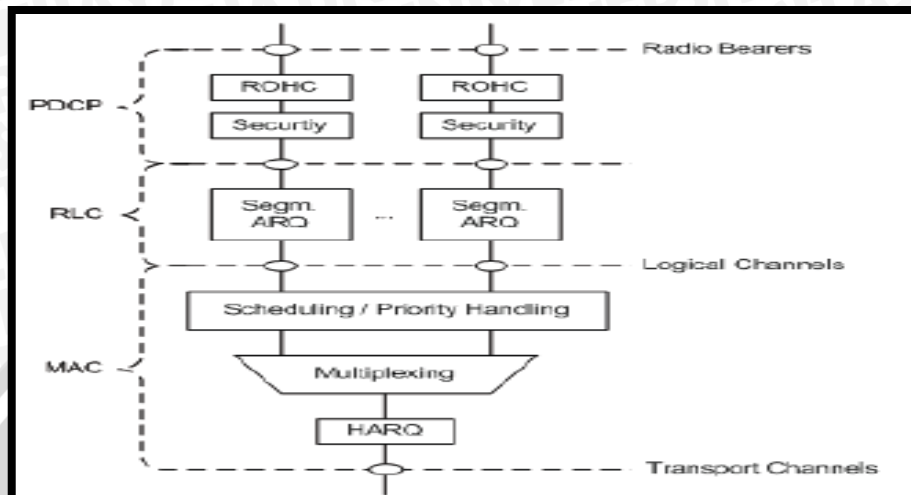
Gambar 2.6 (a) Control Plane Protocol Stack (b) User Plane Protocol Stack
(Sumber: LTE a Technical Overview, 2007)

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



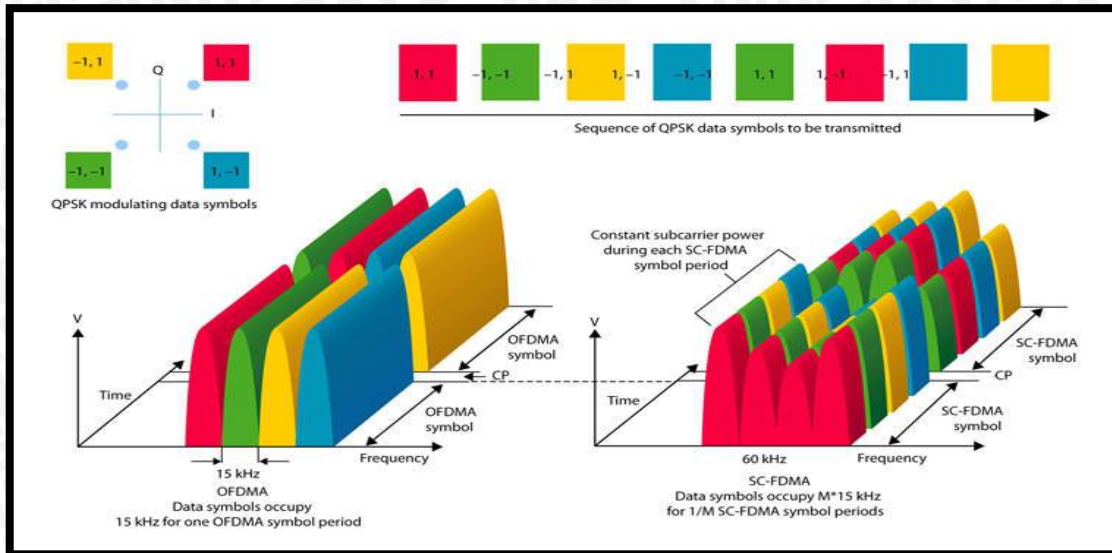
Gambar 2.7 Struktur Layer 2 pada Uplink
(Sumber: *LTE a Technical Overview*, 2007)

2.4. Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Teknik *multiple access* yang digunakan pada LTE ada dua. Pada transmisi *uplink*, LTE menggunakan teknik *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), dan pada sisi *downlink* menggunakan teknik *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Kedua teknik *multiple access* tersebut merupakan pengembangan dari teknik *multiple access* sebelumnya yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). (Hyung G. Myung, 2009)

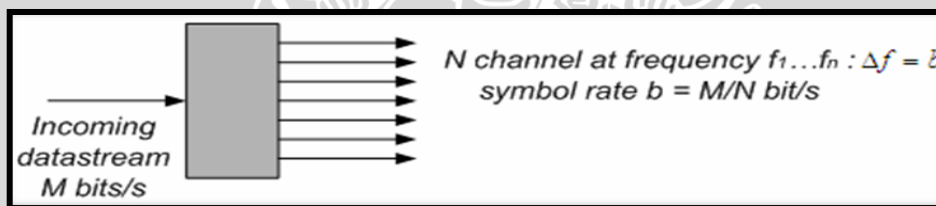
Single Carrier Frequency Division Access (SC-FDMA) digunakan pada sisi *uplink* 3GPP LTE adalah teknik *multiple access* dengan *single carrier* yang tersusun secara *orthogonal* dan disebut dengan *subcarrier*. Keunggulan dari sistem ini yakni mampu menghilangkan ISI (*Inter Symbol Interference*). (Jin Xinzhu, 2007)

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



Gambar 2.8 Perbandingan Transmisi Simbol Data QPSK pada Teknologi OFDMA dan SC-FDMA (Sumber: Moray Rumney, 2009)

Prinsip dasar dari sistem SC-FDMA seperti yang telah dijelaskan, sama halnya dengan OFDMA yaitu membagi sebuah M laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi N laju data rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Pembagian Aliran Data (Sumber : <http://www.cogitamus.it>)

Pada sistem SC-FDMA, laju transmisi total yang tersedia dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* agar dapat mentransmisikan data dengan laju data rendah. Laju transmisi untuk masing-masing *subcarrier* dari laju transmisi total yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \tag{2.1}$$

Dengan,

R_{sub} = laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = laju tranmisi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

Durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T_{sub} = \frac{\log_2 \cdot M}{R_{sub}} = \frac{N \cdot \log_2 \cdot M}{R_{tot}} \quad (2.2)$$

Dengan,

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

R_{sub} = laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = laju transmisi total (bps)

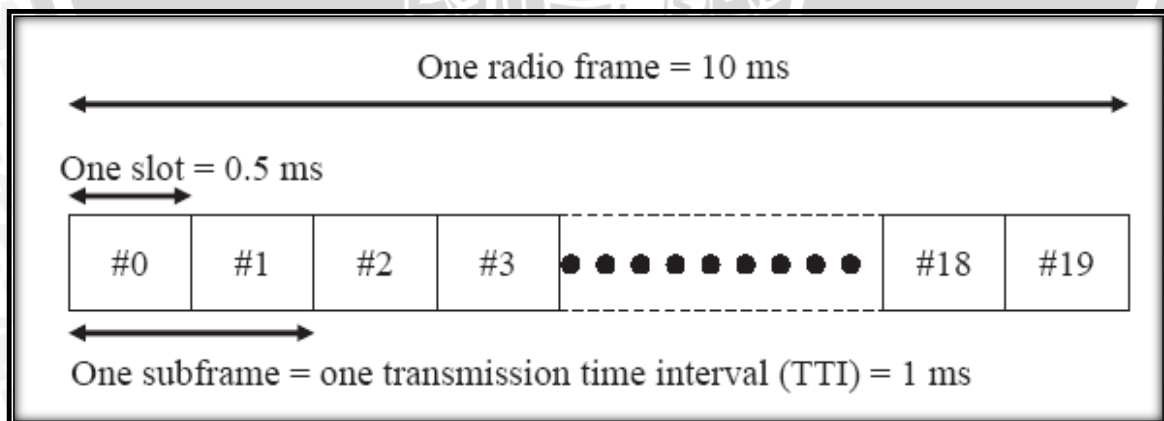
N = jumlah *subcarrier* pada terminal

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

2.5 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) pada LTE (Long Term Evolution)

2.5.1 Struktur Frame LTE

Pada LTE, transmisi *uplink* dan *downlink* dijadikan ke dalam sistem *radio frame*, dimana durasinya sebesar 10 ms *perframe*. 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* 10 ms pada dasarnya berlaku pada mode transmisi FDD dan TDD. Tetapi pada skripsi ini, metode transmisi yang digunakan adalah metode FDD.



Gambar 2.10 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 access* 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)

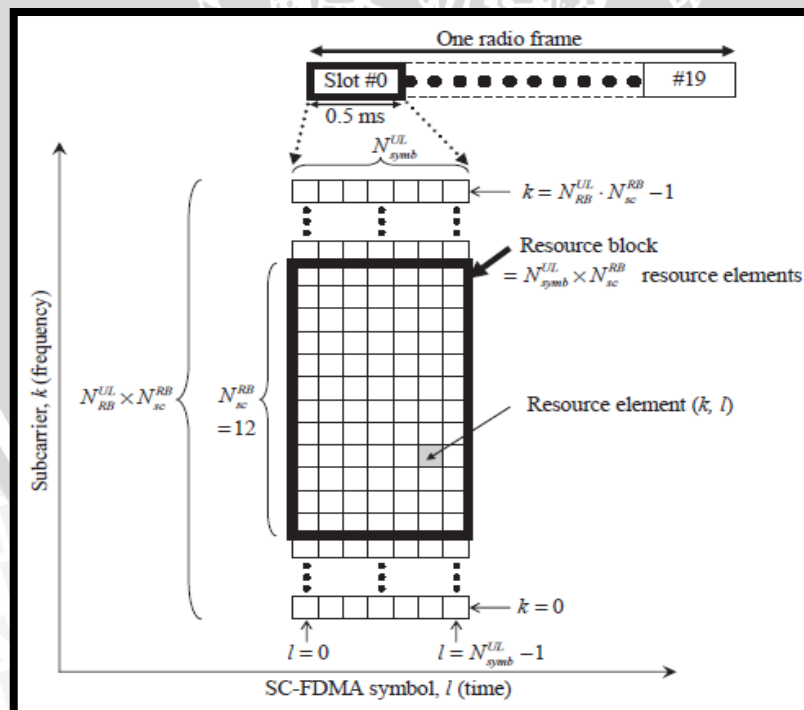
Tabel 2.2 Simbol-simbol pada Kanal *uplink* LTE

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)

2.5.2 Resource Block

Satu alokasi *resource* yang ditransmisikan pada LTE disebut dengan *resource block*. Setiap *resource block* memiliki durasi 0,5 ms (satu slot) dan yang di dalamnya berisikan 12 *subcarrier* dengan *bandwidth* 180 KHz, yang berarti jarak antar *subcarrier* sebesar 15 KHz. Jumlah *resource block* berbeda-beda pada tiap kanal *bandwidth*, mulai dari 6 *resource block* pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz hingga 100 *resource block* pada kanal *bandwidth* 20 MHz. (Hyung G. Myung, 2009)



Gambar 2.11 Resource block pada kanal *uplink* LTE
(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					
Cyclic Prefix	5,21 μ s untuk normal CP dan 16,67 μ s untuk long CP					

(Sumber: Harri Holma, 2007)

Spektrum *bandwidth* yang dapat ditempati oleh sinyal yang ditransmisikan oleh satu terminal dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka besarnya $bandwidth_{Config}$ dinyatakan dalam persamaan (Hyung G. Myung, 2009):

$$B_{config} = N_{SC}^{RB} \times N_{RB}^{UL} \times B_{SC} \text{ (Hz)} \quad (2.3)$$

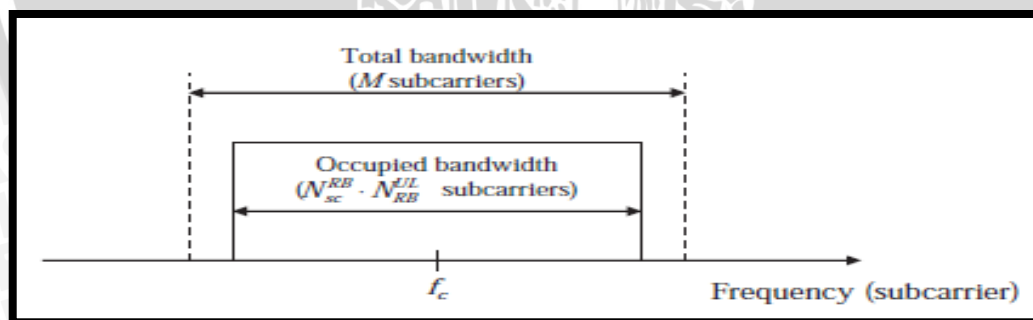
Dengan,

B_{config} = bandwidth configures (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



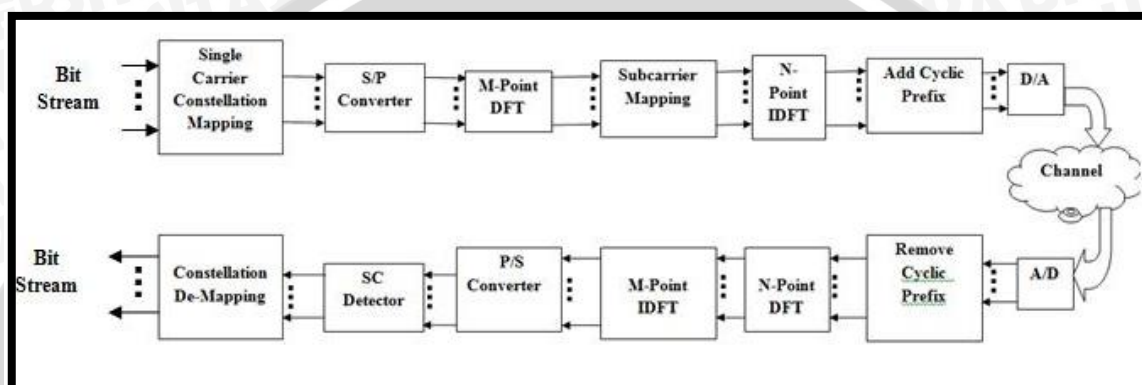
Gambar 2.12 Bandwidth Configure
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

2.5.3 SC-FDMA Signal Processing

Gambar 2.13 menunjukkan bagaimana *transmitter* SC-FDMA mengirimkan satu blok data ke *receiver*. Pada praktiknya, sistem mengadopsi teknik modulasi untuk kualitas kanal (disebut juga modulasi adaptif), yaitu menggunakan *Quadrature Phase*

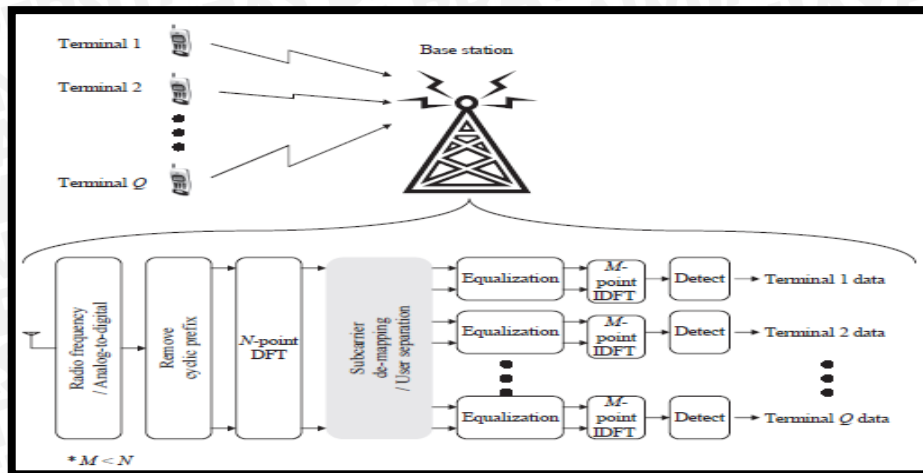
Shift Keying (QPSK) pada kanal yang lemah sampai 64-level *Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM) pada kanal yang kuat.

Pada data blok DFT terdiri dari M -complex modulation symbol dalam domain waktu diubah 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.



Gambar 2.13 Struktur *Transmitter* dan *Receiver* pada SC-FDMA
(Sumber: Yusup Rudyanto, 2010)

Single Carrier Constellation Mapping berfungsi mengubah aliran bit menjadi simbol-simbol sesuai dengan modulasi yang digunakan, yaitu QPSK, 16-QAM, atau 64-QAM. 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 detektor nantinya akan menerima M -simbol secara 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 2.14 Struktur *Receiver* SC-FDMA pada sisi *Uplink*
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

2.5.3.1 Konversi Serial ke 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.

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

Pada praktiknya 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.

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

DFT dihitung menggunakan persamaan:

$$X_k = \sum_{m=0}^{M-1} x_m W_M^{km}, \text{ dimana } W_m = e^{-j\frac{2\pi}{M}} \quad (2.4)$$

Sehingga:

$$X_k = \sum_{m=0}^{M-1} x_m e^{-j2\pi(\frac{k}{M})m} \quad (2.5)$$

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).

$$Y_1 \text{ (domain frekuensi)} \xrightarrow{N\text{-point IDFT}} Y_n \text{ (domain waktu)}$$

Dimana persyaratan untuk sistem ini adalah:

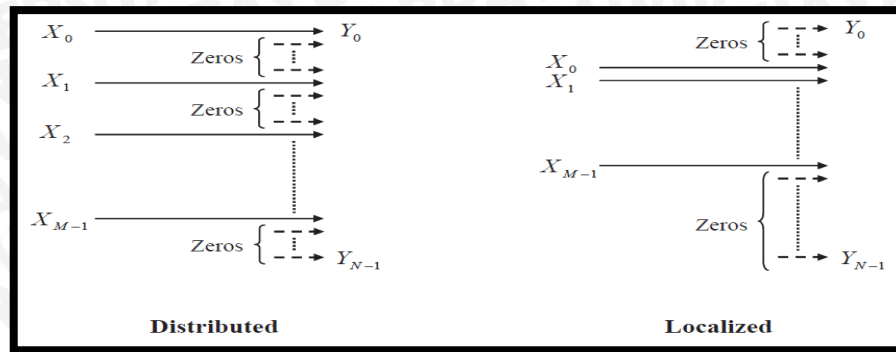
$$M < N \quad (2.6)$$

IDFT dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k e^{j2\pi(\frac{k}{M})m} \\ &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k W_M^{-km}, \text{ dimana } W_m = e^{-j\frac{2\pi}{M}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

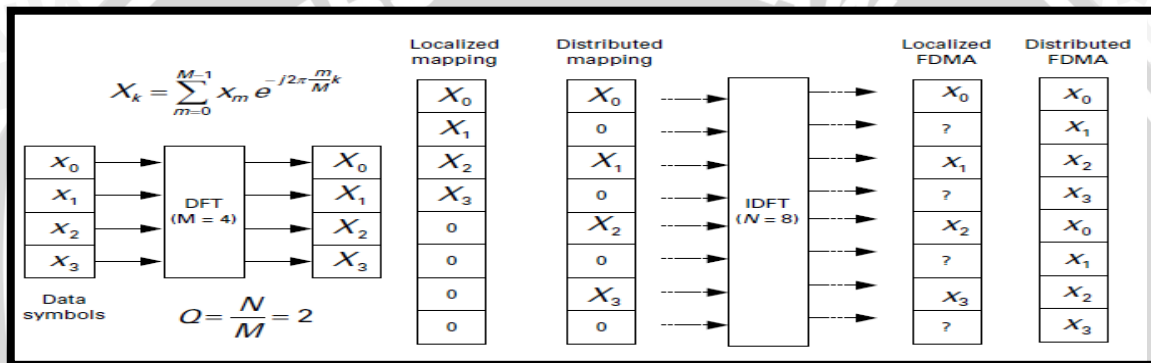
2.5.3.3 Subcarrier Mapping

Metode yang digunakan untuk menetapkan 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 M -*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)



Gambar 2.15 Metode *Subcarrier Mapping*
(Sumber: Hyung G. Myung, 2009)

Metode DFDMA dan LFDMA untuk $M=4$, *symbol/block*, $N=8$, *subcarrier*, $Q=2$ terminal, pada sebuah sistem SC-FDMA digambarkan sebagai berikut:

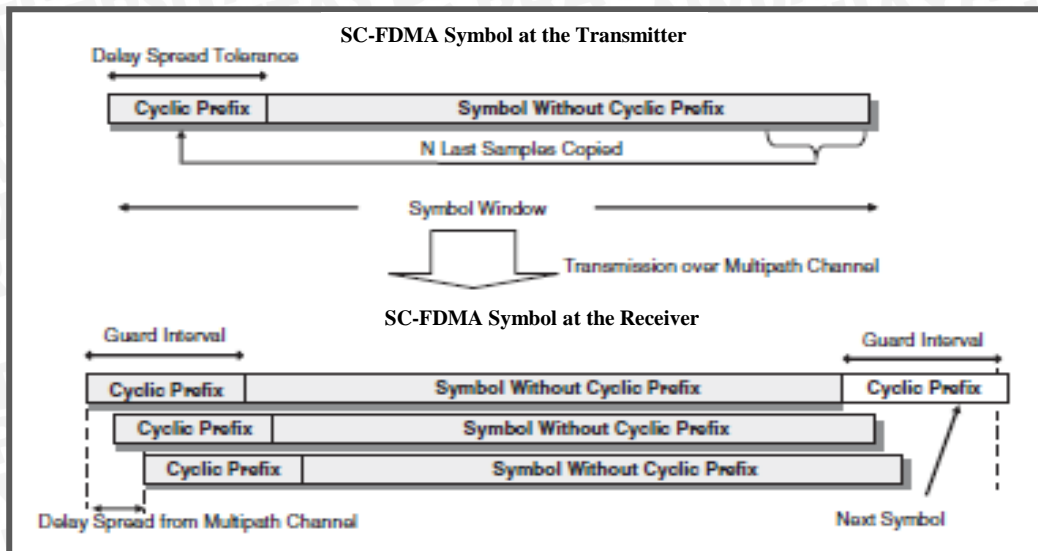


Gambar 2.16 *Subcarrier Mapping* untuk LFDMA dan DFDMA
(Sumber: Farooq Khan, 2009)

2.5.3.4 Cyclic Prefix (CP)

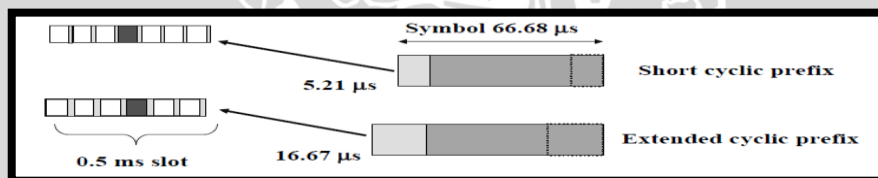
Setelah dilakukan pentransmisiian sinyal, setiap *subcarrier* harus dapat dipisahkan pada sisi *receiver*, tetapi pada kenyataannya proses ini tidak mudah karena propagasi gelombang di udara yang banyak menimbulkan masalah, seperti adanya pengaruh kanal *multipath* yang dapat menyebabkan terjadinya *inter-symbol 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 2.17 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. Akan tetapi ketika menggunakan *extended* CP maka data yang ditransmisikan akan dikurangi. Sehingga total durasi simbol SC-FDMA setelah penambahan CP adalah $T_s = T_{sub} + T_{cp}$.



Gambar 2.18 *Short dan Extended Cyclic Prefix* (Sumber: Harri Holma, 2009)

Bandwidth antar *subcarrier* setelah penambahan *cyclic prefix* sama dengan *invers* dari durasi simbol tanpa *cyclic prefix*. Secara matematis *bandwidth subcarrier* dapat dituliskan dengan (Hara, 2003):

$$\Delta f = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_{sub} + T_{cp}} \quad (2.8)$$

Sehingga total *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* yang digunakan, setelah penambahan CP digambarkan pada persamaan 2.9:



$$\begin{aligned}
 B_{sistem} &= \frac{2}{T_{sub}} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_{sub}} \\
 B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_{sub}} \\
 B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot \frac{N \cdot \log_2 M}{R_{tot}}} \\
 B_{sistem} &= \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N-1]}{(1-\alpha_{cp}) \cdot N \cdot \log_2 M}
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Dengan :

B_{sistem} = bandwidth sistem (Hz)

T_s = durasi simbol SC-FDMA (s)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

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*

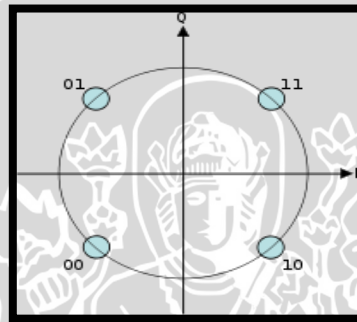
Walaupun dengan adanya *cyclic prefix* dapat menghilangkan terjadinya *intersymbol interference*, CP merupakan bagian yang tidak membawa informasi. Hal ini menyebabkan ketika penambahan CP maka efisiensi sistem akan menurun. (Jin Xinzhu, 2007)

2.5.4 Modulasi Adaptif

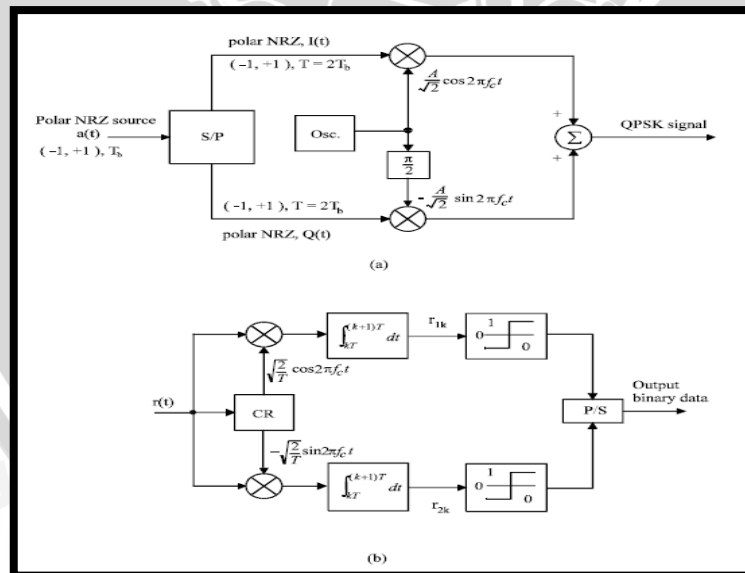
Modulasi adaptif, secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*) atau biasanya diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Semakin jauh jarak yang ditempuh maka redaman akan semakin besar dan menurunkan nilai SNR serta menyebabkan laju bit akan semakin rendah, sehingga menggunakan teknik modulasi dengan *rate* yang lebih rendah agar transmisi lebih bagus. Demikian juga sebaliknya, jarak yang dekat akan menghasilkan redaman yang kecil dan meningkatkan SNR serta laju bit akan semakin tinggi, sehingga dapat digunakan teknik modulasi yang menghasilkan *rate* tertinggi. Ada beberapa jenis modulasi yang digunakan dalam sistem SC-FDMA LTE yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

a) **Modulasi QPSK**

QPSK dikenal juga dengan *quaternary* atau *quadriphase* PSK atau 4 PSK. QPSK menggunakan 4 titik diagram konstelasi dengan mengirimkan 2 bit untuk setiap simbol (00, 01, 10, 11). Dengan menggunakan 4 fasa, QPSK dapat melakukan *encode* dua bit per *symbol*. Dalam *QPSK* ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda pula. Keunggulan QPSK adalah mampu mentransmisikan data dua kali lebih cepat dibandingkan dengan BPSK dan lebih efisien dalam penggunaan spektrum frekuensi. Sedangkan kelemahannya adalah kurang tahan terhadap *noise* dan rawan terjadi interferensi dari sinyal lain.



Gambar 2.19 Diagram konstelasi modulasi QPSK
(Sumber : Fuqin Xiong, 2006)

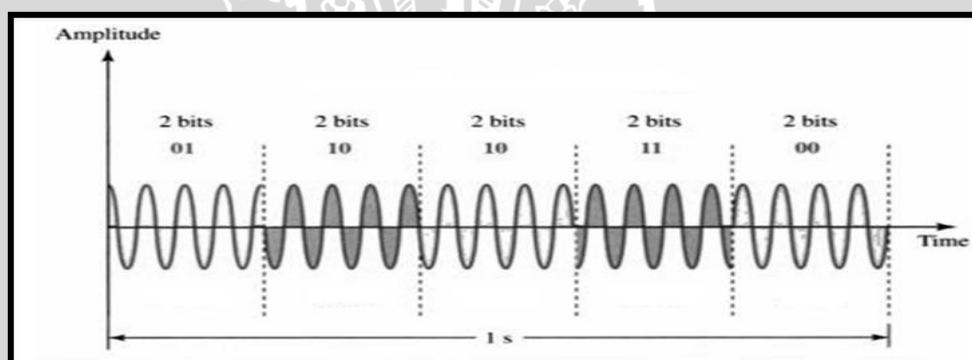


Gambar 2.20 (a) QPSK Modulator (b) QPSK Demodulator
(Sumber : Fuqin Xiong, 2006)

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-paralel* (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 $\sin 2\pi f_c t$. Jelas bahwa sinyal saluran I dan sinyal saluran Q adalah sinyal BPSK dengan durasi simbol $2T_b$. Akhirnya hasil penjumlahan dua bentuk gelombang ini menghasilkan sinyal QPSK. (Fuqin Xiong, 2006)

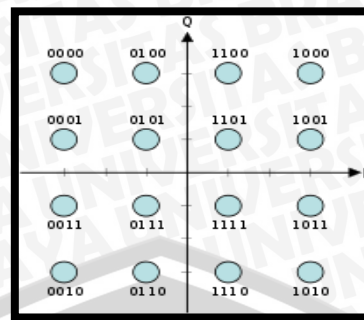
Dalam proses demodulasinya, hasil akhir dari *demodulator* hanya output *multiplexing* saluran I dan saluran Q. Jadi kesalahan *bit rate* untuk hasil akhir adalah sama untuk setiap saluran. Simbol A merupakan dua bit dari masing-masing saluran I dan saluran Q. Simbol kesalahan terjadi jika salah satu dari kedua bit mengalami kesalahan. Gambar 2.21 memperlihatkan konsep dari sinyal QPSK.



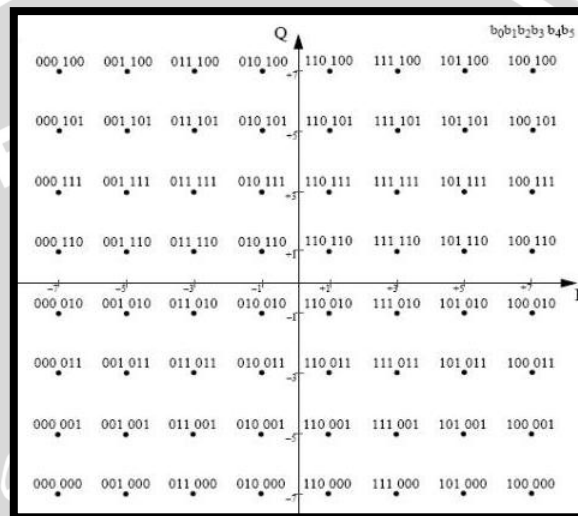
Gambar 2.21 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

b) *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

QAM merupakan teknik modulasi yang merupakan perpaduan antara ASK dan PSK. Sehingga pada QAM, amplitudo dan fasa sinyal *carrier* akan berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi, yang mengakibatkan sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran fasa. Modulasi QAM membawa data dengan merubah parameter dari sinyal *carrier* untuk merespon sinyal. Dalam hal ini, amplitudo dua sinyal *carrier* QAM yang berbeda fasa 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.



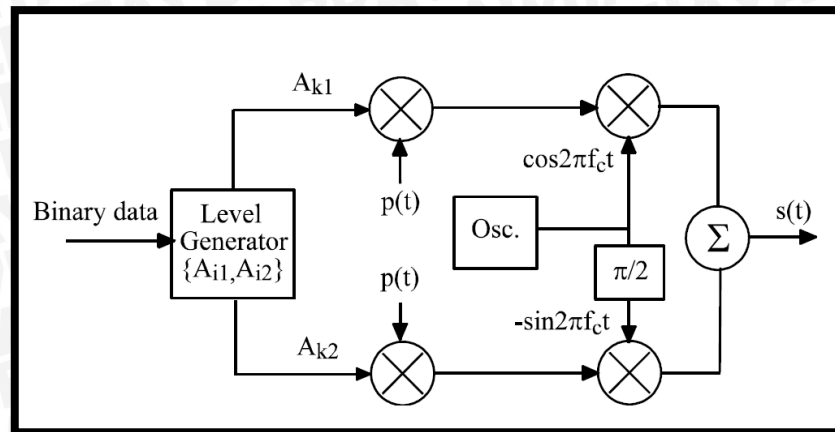
(a)



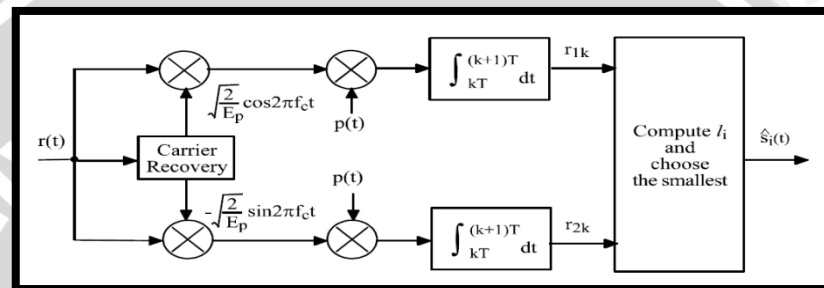
(b)

Gambar 2.22 (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)

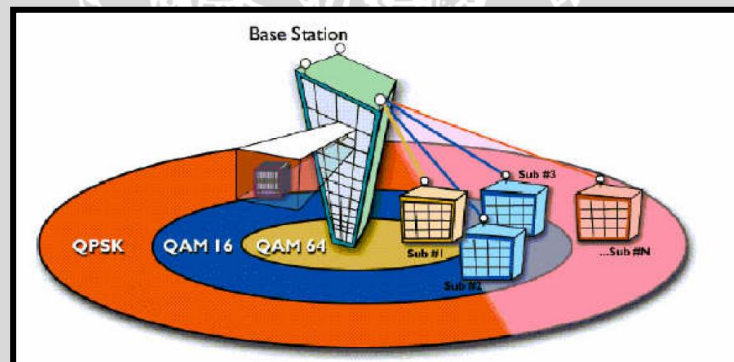


(a)



(b)

Gambar 2.23 (a) QAM modulator (b) QAM demodulator
(Sumber : Fuqin Xiong, 2006)



Gambar 2.24 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 2.24 memperlihatkan hubungan antara radius jangkauan dengan sistem modulasi yang digunakan. (Amitabh kumar, 2008)

2.6 Kanal Propagasi

Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem *wireless*, yang tentunya

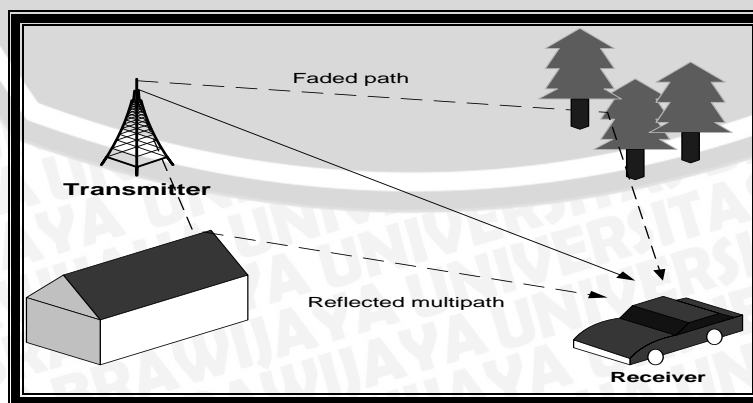
menggunakan media *wireless*, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut adalah

1) *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem *wireless*, sinyal asli dapat bercampur dengan sinyal *noise* ini sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

2) *Fading*

Fading merupakan *fluktuasi* amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal yang sama oleh *receiver* akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai ke penerima 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 relatif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain, hal ini akan mengakibatkan penguatan atau redaman sinyal terima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di penerima akan mengalami *fluktuasi*. Apabila level sinyal yang diterima berada di bawah nilai ambang batas penerima maka sinyal tersebut mengalami *fading*. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*. *Fading* juga dapat terjadi karena efek *doppler*, yang terjadi jika *user* bergerak dengan kecepatan relatif terhadap *base station*. Proses terjadinya *multipath fading* dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Proses terjadinya *multipath fading*.
(Sumber : <https://mandorkawat2009.wordpress.com>)

2.6.1 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. Artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN dapat dijelaskan dalam Gambar 2.26.

Noise AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel 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, serta sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. (Hyung G. Myung, 2009)

Besarnya daya AWGN dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$N_o = k \cdot T \cdot B \quad (2.10)$$

keterangan :

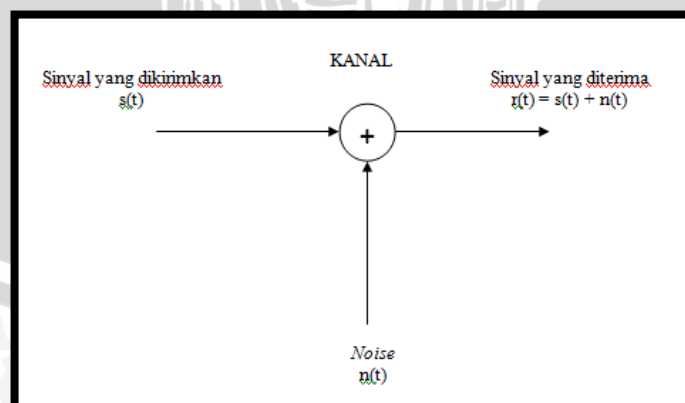
N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

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

B : *bandwidth* (Hz)

Dari persamaan (2.10) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan telekomunikasi manapun akan selalu ada, selama terdapat *bandwidth* dan temperatur perangkat telekomunikasi yang bekerja pada suhu di atas -273° K.



Gambar 2.26 Additive White Gaussian Noise (AWGN)
(Sumber: Adit Kurniawan, 2005)

2.6.2 Kanal Rayleigh Fading

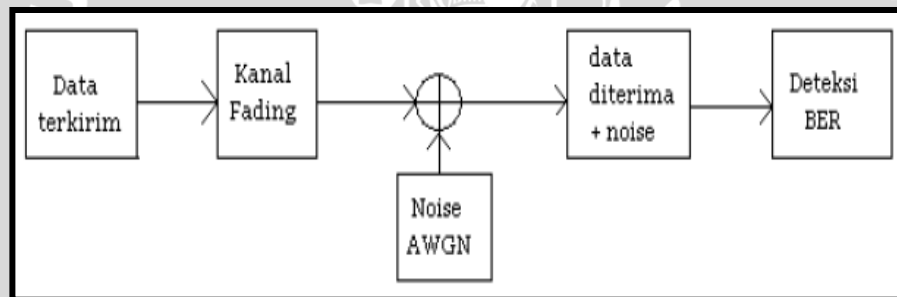
Pengertian dari kanal *rayleigh fading* yaitu kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering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

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & , 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & , r \leq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Dengan,

σ = nilai rms level sinyal yang diterima sebelum detektor

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



Gambar 2.27 Kanal Rayleigh Fading
(Sumber: Adit Kurniawan, 2005)

2.7 Model Propagasi

Berbagai macam karakteristik kanal yang telah dijelaskan sebelumnya dapat diestimasi 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 acak 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 empirik adalah model *Okumura-Hata*, model *Walfisch-Ikegami*, model *Lee*, dan model *Longley-Rice*.

2.7.1 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

2.7.2 Karakteristik Model Propagasi *Okumura-Hata*

Pada propagasi, jarak antara *transmitter* dan *receiver* dapat bervariasi dari LOS (*Line of Sight*) hingga tertutup oleh penghalang seperti bangunan, bukit, dan pepohonan. Saat transmisi, 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-Hata* 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.

Untuk teknologi LTE, model propagasi *Okumura-Hata* memiliki spesifikasi sesuai dengan Tabel 2.4 berikut

Tabel 2.4 Spesifikasi LTE untuk Model Propagasi Okumura-Hatta

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2600 MHz
Metode Duplex	FDD, TDD
Kanal Bandwidth	1,4Mhz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz
Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Radius Cell	<i>Terrain A</i> (Rural) 300 – 800 meter <i>Terrain B</i> (Sub-Urban) 800 – 1500 meter <i>Terrain C</i> (Urban) 1500 – 15000 meter
Temperatur Kerja	0°C – 40 °C
Pemancar (UE)	
Tinggi antena UE (m)	1,5 meter
<i>Max UE Power Amplifier</i>	23 dBm
<i>Gain antena UE</i>	0 dBi
Penerima (Node-B)	
Tinggi Antena eNode-B	50 meter
Penguatan antena eNode-B	18 dBi
<i>Noise Figure</i>	2 dB

(Sumber: Harri Holma, 2009)

2.8 Performansi Sistem SC-FDMA

2.8.1 Peak Bit Rate

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):

$$\text{Peak bit rates} = \frac{\text{bit per symbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah simbol persub frame}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \alpha_{CP}) \text{Kbps} \quad (2.12)$$

Dengan,

N = jumlah *subcarrier*

α_{CP} = faktor *cyclic prefix*

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

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisiian sinyal dari pengirim ke penerima 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 pengirim dan penerima 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 pengirim ke penerima. 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>):

$$PL = A + 10 \cdot \gamma \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (2.13)$$

Dengan,

- PL = rugi-rugi propagasi (dB)
- A = *pathloss* referensi (dB)
- γ = eksponen *pathloss*
- d = jarak pengirim ke penerima (m)
- d_0 = jarak referensi *pathloss* (100 m)
- s = efek *shadow* (dB)
- ΔPL_f = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan
- ΔPL_h = faktor koreksi terhadap tinggi antena penerima

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

$$A = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot c \cdot d_0}{f} \right) \quad (2.14)$$

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:

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (2.15)$$

Dengan,

γ = eksponen *pathloss*

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

h_b = tinggi antena *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 2.5.

Tabel 2.5 Parameter untuk Tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Tipe A	Tipe B	Tipe 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:

$$\Delta PL_f = 6 \text{Log}_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (2.16)$$

Dengan,

f = frekuensi operasi sistem (Hz)

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

$$\begin{aligned}\Delta PL_h &= -10.8 \text{ Log}_{10} \left(\frac{h_{UE}}{2} \right), \text{ Untuk tipe } terrain \text{ A dan B} \\ \Delta PL_h &= -20 \text{ Log}_{10} \left(\frac{h_{UE}}{2} \right), \text{ Untuk tipe } terrain \text{ C}\end{aligned}\quad (2.17)$$

Dengan,

h = tinggi antena *User Equipment* (m)

2.8.3 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):

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_0(dBm) \quad (2.18)$$

Dengan,

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_0 = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

$$P_r = P_t + G_t + G_p - PL - 10 \cdot \text{Log}_{10}(N) \quad (2.19)$$

Dengan,

P_r = daya terima (dBm)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = *gain* antena pemancar (dBi)

G_r = *gain* antena penerima (dBi)

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

N = jumlah *subcarrier* pada terminal UE

Sedangkan untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dalam persamaan berikut: (E. Glatz, 1999)

$$N_0 = 10 \cdot \text{Log}_{10}(k \cdot T) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(B_{sistem}) + NF \quad (2.20)$$

Dengan,

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* (dB)

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

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

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP})SNR \quad (2.21)$$

Dengan,

SNR_{sistem} = *signal to noise ratio* sistem (dB)

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

2.8.4 Kapasitas Kanal Sistem

Pada SC-FDMA, kapasitas kanal adalah jumlah bit per detik yang dapat diterima di *base station*, digambarkan oleh persamaan (Hyung G. Myung, 2009):

$$C = W \cdot \log_2(1 + SNR) \text{ bps} \quad (2.22)$$

Dengan,

C = kapasitas kanal (bps)

W = *bandwidth* yang terpakai pada transmisi sinyal (Hz)

SNR = *Signal to Noise Ratio* pada kanal AWGN

Dengan menggunakan persamaan (2.9) untuk menghitung *Bandwidth* sistem dan persamaan (2.21) untuk menghitung SNR sistem, maka kapasitas kanal pada terminal UE, diperoleh dari persamaan:

$$C_{SC-FDMA} = B_{sistem} \cdot \log_2(1 + SNR_{sistem}) \text{ bps} \quad (2.23)$$

Dengan,

$C_{SC-FDMA}$ = kapasitas kanal (bps)

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

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

2.8.5 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):

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR_{sistem} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2.24)$$

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)

2.8.6 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 yang salah 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

$$P_{b,QPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

(2.25)

Dengan,

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

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

b) *M*-ary QAM

$$P_{b,M-QAM} = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}\log_2(M)} \times \text{erfc} \times \left(\sqrt{\frac{3\log_2(M)}{4(M-1)}} \times \frac{E_b}{N_o} \right) \quad (2.26)$$

Dengan,

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

$\frac{E_b}{N_o}$ = 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 $\text{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didefinisikan sebagai fungsi kesalahan dari variabel (x) dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}x} e^{-x^2} \quad (2.27)$$

Dengan,

erfc = *error function complementary*



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini bersifat analisis, analisis dilakukan pada pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada *Long Term Evolution* (LTE) yang mengacu pada studi literatur. Parameter-parameter yang akan dianalisis yaitu *bandwidth*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), kapasitas kanal, dan *Bit Error Rate* (BER). Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini yaitu:

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

3.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini untuk mendukung tahap selanjutnya yaitu pengambilan data. Hal ini dilakukan sehingga data yang diambil sesuai dengan bahasan dalam skripsi ini. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data-data sekunder yang berkaitan dengan skripsi ini. Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi LTE. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Teknologi *Long Term Evolution* (LTE)

Standar jaringan LTE yang digunakan merupakan LTE yang dikeluarkan oleh 3GPP yaitu LTE *release 8* berdasarkan buku yang berjudul "*LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based on Radio Access*" yang ditulis oleh Harri Holma dan Antti Toskala pada tahun 2009, "*Single Carrier-FDMA a New Air Interface for LTE*" yang ditulis oleh Hyung G. Myung pada tahun 2009, dan buku yang berjudul "*LTE for 4G Mobile Broadband*" yang ditulis

oleh Farooq Khan pada tahun 2009 meliputi pengertian, konfigurasi, arsitektur, dan protokol. Parameter-parameter jaringan LTE diantaranya yaitu:

- 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 pada LTE yaitu 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. Parameter yang akan dianalisis meliputi *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER.
2. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*

Kanal propagasi yang digunakan dalam sistem SC-FDMA adalah kanal propagasi Okumura-Hata dengan kanal *noise* AWGN dan kanal *Rayleigh Fading*. Performansi sistem SC-FDMA yang meliputi parameter *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER merujuk pada buku "*LTE for 4G Mobile Broadband*" yang ditulis oleh Farooq Khan pada tahun 2009.

3. *Cyclic Prefix (CP)*

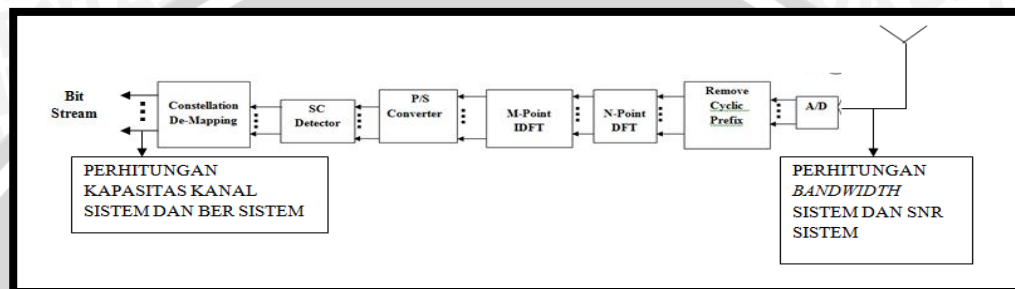
Sesuai dengan buku yang berjudul "*LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based on Radio Access*" yang ditulis oleh Harri Holma dan Antti Toskala pada tahun 2009, durasi CP yang digunakan pada kanal *uplink* LTE dengan SC-FDMA ada dua yaitu *short* atau normal CP dengan durasi 5,21 μ s dan *long* atau *extended* CP dengan durasi 16,67 μ s.

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 7.1.0.246 (R14) untuk 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)*.

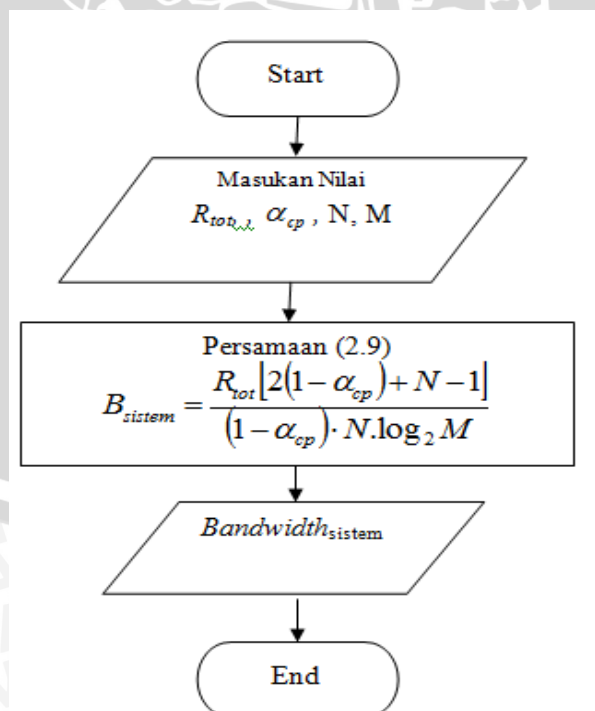
Analisis keempat parameter performansi yang telah ditentukan tersebut dilakukan seluruhnya di sisi penerima sistem SC-FDMA pada LTE. Berikut ini adalah gambar analisis performansinya



Gambar 3.1 Blok Diagram Analisis Sistem SC-FDMA.
(Sumber : Perancangan, 2012)

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

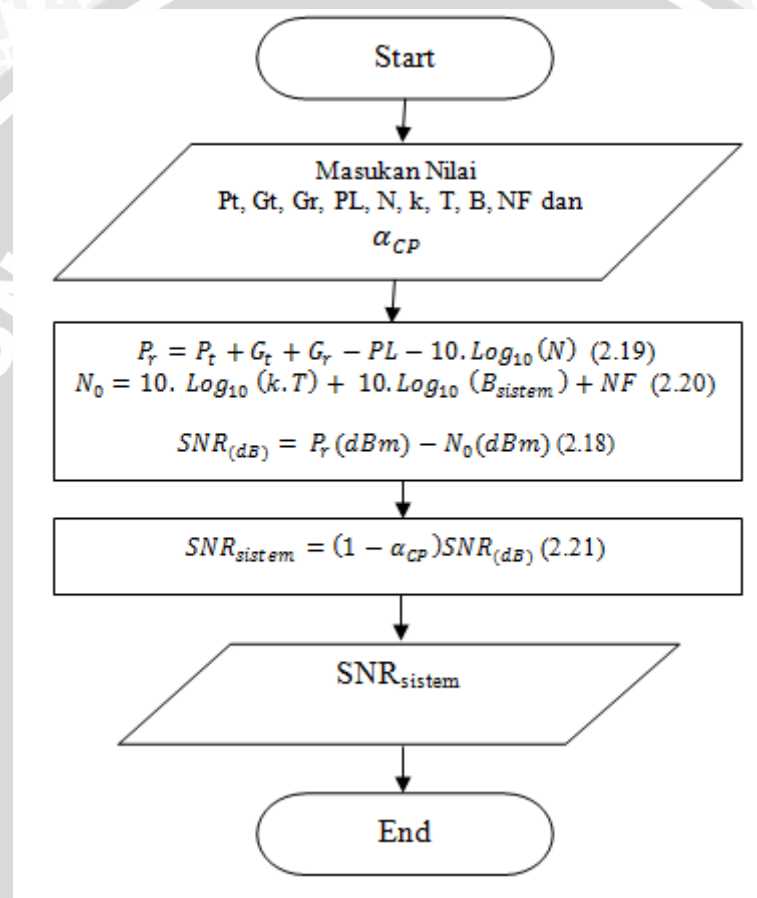
1. Perhitungan *Bandwidth*, sistem dengan cara:



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan *Bandwidth* Sistem.
(Sumber : Perancangan, 2012)

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* (0,0729; 0,2)

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

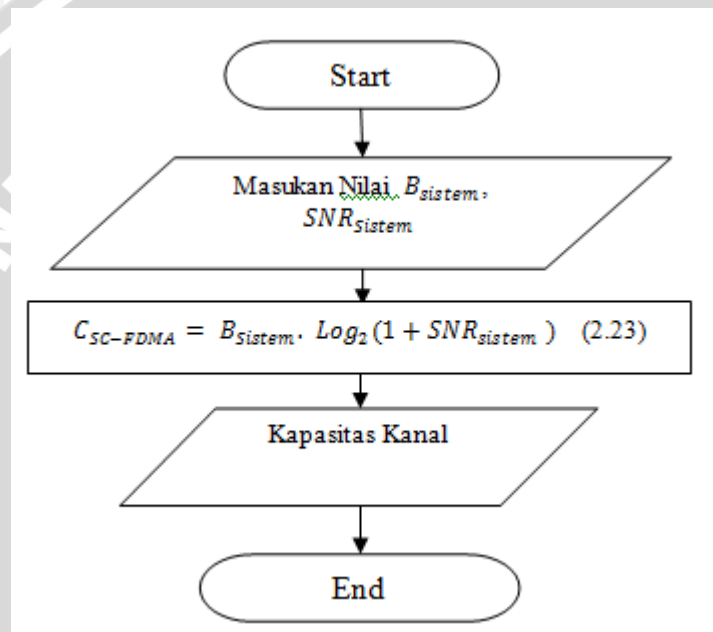


Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) Sistem.
 (Sumber : Perancangan, 2012)

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*

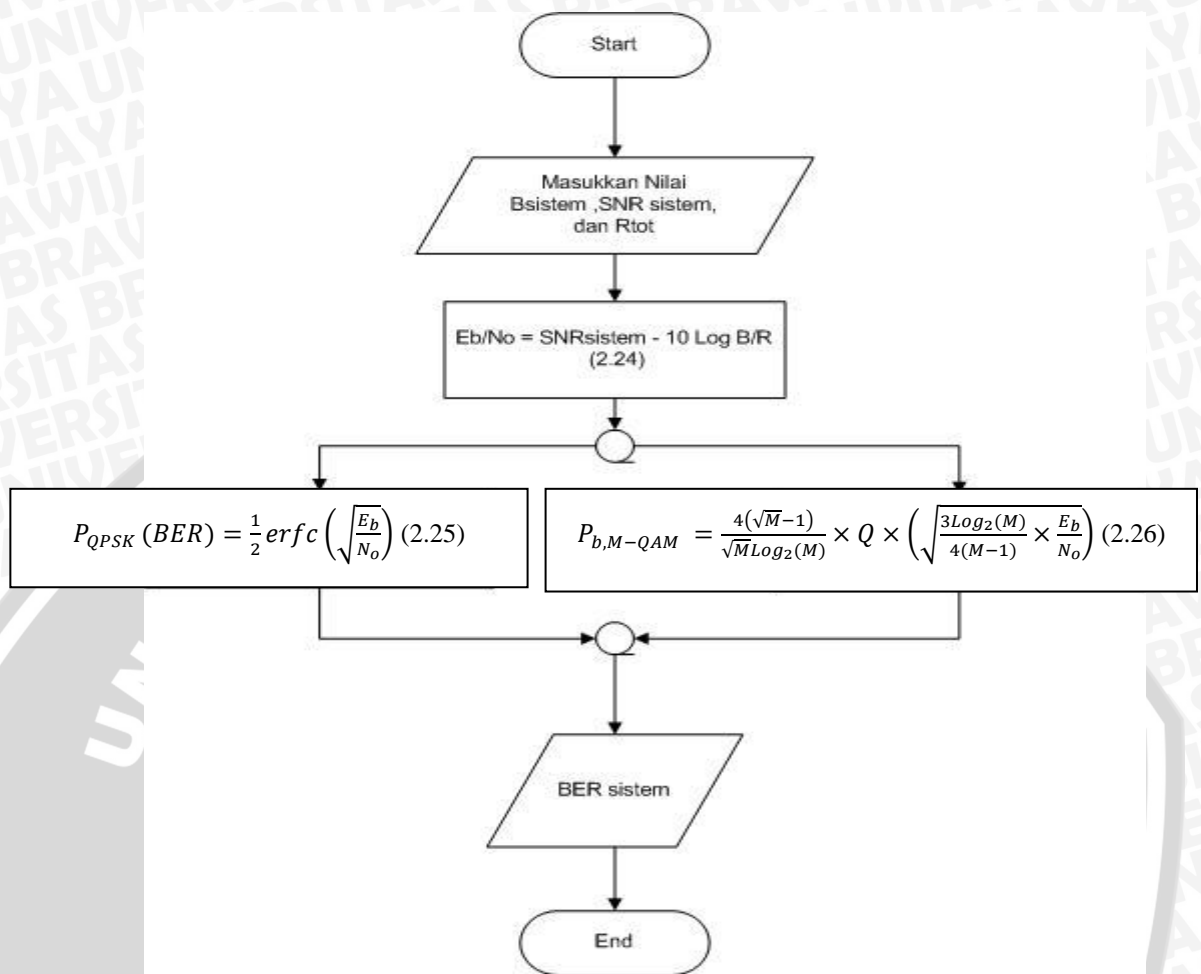
- N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)
 k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
 T = suhu *absolute* (300° K)
 NF = *noise figure* (11,2 dB)
 B = *bandwidth* (Hz)
 SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise Ratio* sistem (dB)
 α_{cp} = faktor *cyclic prefix* (0,0729; 0,2)

3. Perhitungan kapasitas kanal, dengan cara:



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal sistem SC-FDMA.
(Sumber : Perancangan, 2012)

- Dengan,
 C = kapasitas kanal (bps)
 B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)
 SNR_{sistem} = *Signal-to-Noise Ratio* sistem (dB)

4. Perhitungan *bit error rate* (BER), dengan cara:

Gambar 3.5 Diagram Alir Perhitungan BER sistem SC-FDMA.
(Sumber : Perancangan, 2012)

Dengan,

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

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

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

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

3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan merupakan tahapan terakhir. Pada tahapan ini, dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil analisis serta perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pemberian saran kepada pembaca sehingga nantinya dapat dijadikan dasar pengembangan atau referensi untuk karya tulis selanjutnya

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada Bab IV dilakukan analisis pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi SC-FDMA pada LTE berdasarkan teori dan persamaan yang ada pada Bab II. Parameter-parameter yang dianalisis ada empat yaitu *bandwidth*, SNR, kapasitas kanal, dan BER. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, 64-QAM serta menggunakan model propagasi Okumura-Hata dengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*. Perhitungan dilakukan dengan program Matlab 7.1.0.246 (R14). Hasil yang nantinya diharapkan adalah dapat diketahui bagaimana performansi dari SC-FDMA pada LTE dilihat dari parameter-parameter performansi yang telah ditentukan jika panjang *cyclic prefix* yang digunakan berbeda, yaitu 5,21 μ s dan 16,67 μ s.

4.2 Analisis Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* Terhadap Performansi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* pada *Long Term Evolution (LTE)*

Pada sub-bab ini akan dibahas pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi SC-FDMA pada LTE dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM dan model propagasi Okumura-Hata dan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading* yang terdiri dari performansi *bandwidth*, *signal-to-noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, dan *bit error rate* (BER) pada LTE yang menggunakan teknik *multiple access* SC-FDMA.

Sistem SC-FDMA memiliki kelebihan dalam hal penggunaan *bandwidth* yang lebih sedikit dengan menjaga *subcarrier* agar tetap *orthogonal*. Namun, pada sistem ini sering terjadi interferensi berupa *intersymbol interference* (ISI). Maka dari itu, pada sistem SC-FDMA ditambahkan *cyclic prefix* yang berfungsi menghilangkan ISI.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi pada sistem LTE menggunakan teknik *multiple access* SC-FDMA adalah menggunakan 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 LTE 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>Cyclic Prefix</i>	5,21 μ s untuk normal CP dan 16,67 μ s untuk long CP					

(Sumber: Harri Holma, 2007)

Teknik modulasi yang digunakan yaitu QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Yang berbeda dari ketiga modulasi ini adalah jumlah *bit/symbol* yang ditransmisikan serta jumlah kemungkinan sinyalnya. Untuk modulasi QPSK, mentransmisikan 2 *bit/symbol* dengan 4 kemungkinan sinyal, 16-QAM mentransmisikan 4 *bit/symbol* dengan 16 kemungkinan sinyal, dan 64-QAM mentransmisikan 6 *bit/symbol* dengan 64 kemungkinan sinyal. Untuk mengetahui besar parameter performansi, perhitungan pertama yang dilakukan adalah perhitungan laju data. Setelah nilai laju data didapatkan, maka perhitungan parameter-parameter performansi SC-FDMA dapat dilakukan. Dalam skripsi ini diasumsikan menggunakan 6 simbol per 1 ms *subframe* (sesuai dengan Gambar 2.11) dengan panjang *cyclic prefix* yang digunakan divariasikan menjadi dua jenis, yaitu durasi CP bernilai normal CP dengan durasi 5,21 μ s (0,0729 %) dan *extended* CP dengan durasi 16,67 μ s (0,2 %). 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**).

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK membawa 2*bit/symbol*, pada kanal 1,4 MHz diperoleh jumlah *subcarrier* 72, maka untuk menghitung besarnya *peak bit rate*, dinyatakan dengan Persamaan 2.12:

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

$$\text{Normal CP} : \text{Peak bit rates} = \frac{2}{\text{Hz}} \times 72 \times \frac{6}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,0729) = 0,801 \text{ Mbps}$$

$$\text{Extended CP} : \quad \text{Peak bit rates} = \frac{2}{\text{Hz}} \times 72 \times \frac{6}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,2) = 0,691 \text{ Mbps}$$

Dimana α_{CP} adalah faktor *cyclic prefix*.

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan nilai laju data untuk masing-masing kanal *bandwidth* yang berbeda, yakni 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz dengan menggunakan tiga modulasi yaitu QPSK, 16-QAM, 64-QAM untuk masing-masing kanal *bandwidth*. Hasil analisis ditunjukkan pada **Tabel 4.2** berikut

Tabel 4.2 Hasil Analisis Laju Data

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Peak Bit Rate (Mbps)</i>			
QPSK	0,801	0,6912	2,003	1,728
16-QAM	1,602	1,3824	4,005	3,456
64-QAM	2,403	2,0736	6,008	5,184
Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Peak Bit Rate (Mbps)</i>			
QPSK	3,338	2,88	6,675	5,760
16-QAM	6,675	5,76	13,350	11,520
64-QAM	10,013	8,64	20,025	17,280
Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Peak Bit Rate (Mbps)</i>			
QPSK	10,013	8,640	13,350	11,520
16-QAM	20,025	17,28	26,701	23,040
64-QAM	30,038	25,92	40,051	34,560

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil perhitungan analisis laju data pada kanal *uplink* (*uplink peak bit rates*), dapat diketahui bahwa:

- Nilai *cyclic prefix* yang digunakan mempengaruhi laju data pada kanal *uplink* LTE dimana laju data saat menggunakan normal CP lebih besar dibandingkan saat menggunakan *extended* CP.

- b) Besarnya laju data dipengaruhi oleh modulasi yang digunakan pada terminal UE. Semakin banyak *bit* per simbol yang dibawa pada masing-masing modulasi, maka semakin besar pula laju data yang diperoleh.
- c) Banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* juga mempengaruhi besarnya laju data. Semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* maka semakin besar pula laju data yang diperoleh.
- d) Laju data tertinggi yang mampu dicapai pada kanal *uplink* LTE dengan CP=0,0729 yaitu 13,350 Mbps menggunakan modulasi QPSK, 26,701 Mbps menggunakan modulasi 16-QAM, dan 40,051 Mbps dengan menggunakan modulasi 64-QAM, pada alokasi kanal *bandwidth* 20 MHz.

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

Pada sistem SC-FDMA, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah. Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, nilai *peak bit rates* (laju data) pada kanal 1,4 MHz adalah 0,801 Mbps pada saat faktor CP=0,0729, dengan jumlah *subcarrier* yang digunakan 72, maka diperoleh laju data untuk masing-masing *subcarrier* yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) sebesar:

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N}$$

$$R_{sub} = \frac{0,801 \text{ Mbps}}{72} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Mbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai laju data pada masing-masing *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** berikut

Tabel 4.3 Hasil Analisis Laju Data

Kanal Bandwidth	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah Subcarrier	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	<i>Rsub (Mbps)</i>			
QPSK	0,0111	0,0096	0,0111	0,0096
16-QAM	0,0223	0,0192	0,0223	0,0192
64-QAM	0,0334	0,0288	0,0334	0,0288

Kanal Bandwidth	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah Subcarrier	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	<i>Rsub (Mbps)</i>			
QPSK	0,0111	0,0096	0,0111	0,0096
16-QAM	0,0223	0,0192	0,0223	0,0192
64-QAM	0,0334	0,0288	0,0334	0,0288

Kanal Bandwidth	15 MHz		20 MHz	
Jumlah Subcarrier	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	<i>Rsub (Mbps)</i>			
QPSK	0,0111	0,0096	0,0111	0,0096
16-QAM	0,0223	0,0192	0,0223	0,0192
64-QAM	0,0334	0,0288	0,0334	0,0288

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Setelah didapatkannya nilai laju data pada masing-masing *subcarrier*, dapat diketahui besarnya durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier*. Sesuai dengan Persamaan (2.2), maka besar durasi symbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz dengan jumlah *subcarrier* 72 serta CP=0,0729 yaitu

$$T_{sub} = \frac{\text{Log}_2 \cdot M}{R_{sub}}$$

$$T_{sub} = \frac{\text{Log}_2(4)}{0,0111252 \text{Mbps}} = 179,7753 \mu\text{s}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai durasi simbol untuk modulasi pada kanal *bandwidth* yang berbeda dimana CP yang digunakan ada dua jenis yaitu 0,0729 dan 0,2. Hasil analisisnya ditampilkan pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Hasil Analisis Durasi Simbol Masing-Masing *Subcarrier*

Kanal Bandwidth	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_{sub} (μs)			
QPSK	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
16-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
64-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333

Kanal Bandwidth	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_{sub} (μs)			
QPSK	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
16-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
64-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333

Kanal Bandwidth	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_{sub} (μs)			
QPSK	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
16-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333
64-QAM	179,7753	208,3333	179,7753	208,3333

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Cyclic prefix dibutuhkan untuk mencegah terjadinya *inter symbol interference* (ISI) agar antara *subcarrier* satu dengan lainnya tidak tumpang tindih. CP diperoleh dari menyalin bagian akhir dari setiap simbol dan kemudian akan diletakkan pada bagian awal simbol. CP bertindak sebagai *guard interval* diantara simbol SC-FDMA yang berdekatan. Dalam skripsi ini, durasi CP divariasikan menjadi dua jenis, yaitu normal CP sebesar $5,21 \mu s$ (7,29 %) dan *extended* CP sebesar $16,67 \mu s$ (20 %). Durasi simbol SC-FDMA setelah penambahan CP untuk masing-masing *subcarrier* adalah:

$$T_s = T_{sub} + T_{CP}$$

$$T_s = 179,7753 \times 10^{-6} + \left(\frac{7,29}{100} \times 179,7753 \times 10^{-6} \right) = 192,8809 \mu s$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai durasi *subcarrier* setelah dilakukan penambahan CP untuk masing-masing *subcarrier* pada kanal *bandwidth* berbeda, yaitu 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz. Hasil analisis ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Durasi *Subcarrier*

Kanal Bandwidth	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_s (μs)			
QPSK	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
16-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
64-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999

Kanal Bandwidth	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_s (μs)			
QPSK	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
16-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
64-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999

Kanal Bandwidth	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	T_s (μs)			
QPSK	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
16-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999
64-QAM	192,8809	249,9999	192,8809	249,9999

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Setelah didapatkan durasi simbol SC-FDMA (T_s), nantinya akan digunakan untuk mengetahui *bandwidth* untuk masing-masing *subcarrier*. *Bandwidth subcarrier* untuk durasi simbol SC-FDMA $T_s = 192,8809 \mu s$ adalah:

$$\Delta f = \frac{1}{T_s}$$

$$\Delta f = \frac{1}{192,8809 \cdot 10^{-6}} = 5,18455 \text{ KHz}$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai *bandwidth subcarrier* untuk durasi simbol yang lain. Hasil analisis ditampilkan pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6 Hasil Analisis *Bandwidth* Masing-Masing *Subcarrier*

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Δf (KHz)			
QPSK	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
16-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
64-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Δf (KHz)			
QPSK	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
16-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
64-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Δf (KHz)			
QPSK	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
16-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000
64-QAM	5,18455	4,00000	5,18455	4,00000

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Sesuai dengan Persamaan (2.9) pada Bab II, maka pada teknik modulasi QPSK dengan kanal *bandwidth* 1,4 MHz dan jumlah *subcarrier* 72 dengan faktor CP= 0,0729, besar *bandwidth* sistem dapat dihitung dengan cara sebagai berikut

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

$$B_{sistem} = \frac{0,801[2.(1-0,0729)+72-1]}{(1-0,0729).72.Log_2(4)} \text{ MHz}$$

$$B_{sistem} = 0,4371 \text{ MHz}$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai *bandwidth* sistem untuk kanal *bandwidth* berbeda dengan menggunakan CP = 0,0729 dan CP = 0,2 dengan menggunakan tiga jenis modulasi yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Hasil analisis ditampilkan pada **Tabel 4.7** berikut

Tabel 4.7 Hasil Analisis *Bandwidth* Sistem pada Kanal *Bandwidth* Berbeda dengan Panjang CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Bandwidth_{system}</i> (MHz)			
QPSK	0,4371	0,4356	1,0851	1,0836
16-QAM	0,4371	0,4356	1,0851	1,0836
64-QAM	0,4371	0,4356	1,0851	1,0836

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Bandwidth_{system}</i> (MHz)			
QPSK	1,8051	1,8036	3,6051	3,6036
16-QAM	1,8051	1,8036	3,6051	3,6036
64-QAM	1,8051	1,8036	3,6051	3,6036

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>Bandwidth_{system}</i> (MHz)			
QPSK	5,4051	5,4036	7,2051	7,2036
16-QAM	5,4051	5,4036	7,2051	7,2036
64-QAM	5,4051	5,4036	7,2051	7,2036

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Dalam skripsi ini, juga akan membandingkan antara *bandwidth* sistem yang terpakai untuk sejumlah *subcarrier* dengan *bandwidth configure* yang ada pada didesain pada LTE. Dengan nilai *bandwidth subcarrier* (B_{SC}) maksimal dari 3GPP = 15 KHz. *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.

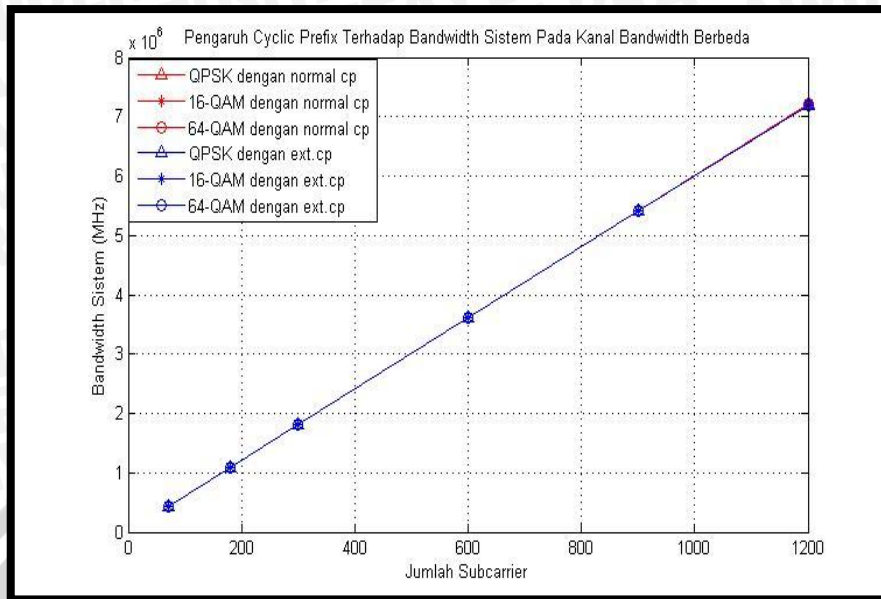
Tabel 4.8 Hasil Analisis *Bandwidth* Sistem dan *Bandwidth Configure* pada Kanal *Bandwidth* Berbeda dengan Panjang CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz				3,0 MHz			
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72				180			
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,0729	0,2	0,2	0,0729	0,0729	0,2	0,2
<i>Modulation</i>	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)
QPSK	0,4371	1,08	0,4356	1,08	1,0851	2,70	1,0836	2,70
16-QAM	0,4371		0,4356		1,0851		1,0836	
64-QAM	0,4371		0,4356		1,0851		1,0836	

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz				10 MHz			
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300				600			
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,0729	0,2	0,2	0,0729	0,0729	0,2	0,2
<i>Modulation</i>	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)
QPSK	1,8051	4,50	1,8036	4,50	3,6051	9,00	3,6036	9,00
16-QAM	1,8051		1,8036		3,6051		3,6036	
64-QAM	1,8051		1,8036		3,6051		3,6036	

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz				20 MHz			
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900				1200			
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,0729	0,2	0,2	0,0729	0,0729	0,2	0,2
<i>Modulation</i>	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)	Bw_{sistem} (MHz)	Bw_{conf} (MHz)
QPSK	5,4051	13,50	5,4036	13,50	7,2051	18,00	7,2036	18,00
16-QAM	5,4051		5,4036		7,2051		7,2036	
64-QAM	5,4051		5,4036		7,2051		7,2036	

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.1 Grafik Analisis Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* terhadap *Bandwidth* Sistem pada Kanal *Bandwidth* Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

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

- Besarnya *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh besarnya laju data. Saat menggunakan *extended CP*, besarnya laju data menurun dikarenakan data yang dikirimkan saat menggunakan *extended CP* lebih sedikit dibandingkan dengan saat menggunakan normal *CP* sehingga besarnya *bandwidth* sistem juga menurun saat menggunakan *extended CP*.
- Efisiensi penggunaan *bandwidth* sistem ketika menggunakan normal *CP* lebih besar $\approx 0,13\%$ dibandingkan saat menggunakan *extended CP*. *CP* tidak membawa data, sehingga semakin panjang *CP*, maka efisiensinya akan semakin rendah. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan *bandwidth* sistem dengan *bandwidth configure* pada masing-masing kanal *bandwidth* yang berbeda.
- Besarnya *bandwidth* tidak dipengaruhi oleh modulasi yang digunakan pada terminal UE.
- Banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* mempengaruhi besarnya *bandwidth* sistem. Semakin banyak jumlah *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* maka semakin besar pula *bandwidth* sistemnya.

- e) *Bandwidth* sistem tertinggi yang mampu dicapai saat $CP=0,0729$ yaitu 7,2051 MHz dengan jumlah *subcarrier* 1200 pada kanal *bandwidth* 20 MHz.

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

Pada saat ditransmisikan, sinyal akan mengalami redaman atau gangguan yang mampu mengurangi daya dari sinyal tersebut. Redaman ini biasanya dinyatakan dengan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*). Pada skripsi ini, SNR pada sistem SC-FDMA LTE akan dianalisis dengan menggunakan model propagasi Okumura-Hata pada keadaan *Sub-urban* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.9** berikut :

Tabel 4.9 Spesifikasi LTE untuk Model Propagasi Okumura-Hatta

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2600 MHz
Metode Duplex	FDD, TDD
Kanal Bandwidth	1,4Mhz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz
Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Radius Cell	<i>Terrain A</i> (Rural) 300 – 800 meter <i>Terrain B</i> (Sub-Urban) 800 – 1500 meter <i>Terrain C</i> (Urban) 1500 – 15000 meter
Temperatur Kerja	0°C – 40 °C
Pemancar (UE)	
Tinggi antena UE (m)	1,5 meter
<i>Max UE Power Amplifier</i>	23 dBm
<i>Gain antena UE</i>	0 dBi
Penerima (Node-B)	
Tinggi Antena eNode-B	50 meter
Penguatan antena eNode-B	18 dBi
<i>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 temperatur 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 4.10**

Tabel 4.10 LTE Operating Range (Sub-Urban)

Modulation	Type Terrain	Operating Range (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) = 900 meter (*terrain-B*) dengan modulasi 64-QAM, pada frekuensi operasi LTE 2600 MHz, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.13), sebesar:

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

$$PL = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot c \cdot d_0}{f} \right) + 10 \cdot \left[a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \right] \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s \\ + 6 \text{Log}_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) + \left[-10.8 \text{Log}_{10} \left(\frac{h_{ue}}{2} \right) \right]$$

$$PL = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4\pi \times 3,10^8 \times 100}{2,6 \times 10^9} \right) + 10 \times \left[4 - 0,0065 \times 50 + \frac{17,1}{50} \right] \\ \times \text{Log}_{10} \left(\frac{900}{100} \right) + 9,6 + 6 \text{Log}_{10} \left(\frac{2,6 \times 10^9}{2000} \right) + \left[-10 \times 8 \text{Log}_{10} \left(\frac{1,5}{2} \right) \right]$$

$$PL = 133,4957 \text{ dB}$$

Untuk mendapatkan rugi-rugi propagasi NLOS dengan modulasi QPSK dan 16-QAM dimana jarak pemancar dan penerima yang dianalisis yaitu 1400 meter dan 1150 meter ditunjukkan pada **Tabel 4.11** berikut

Tabel 4.11 Hasil Analisis Rugi-Rugi Propagasi NLOS

Modulation	Tipe Terrain	Jarak yang akan dianalisis (m)	PL (dB)
QPSK	B	1400	133,4957
16-QAM		1150	130,0640
64-QAM		900	125,7877

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

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 (2.19), maka besarnya daya terima (P_r) pada *receiver* untuk teknik modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1.4 MHz dengan jumlah *subcarrier* 72, adalah:

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

$$P_r = 23 + 0 + 18 - 133,4957 - 10 \cdot \text{Log}_{10}(72)$$

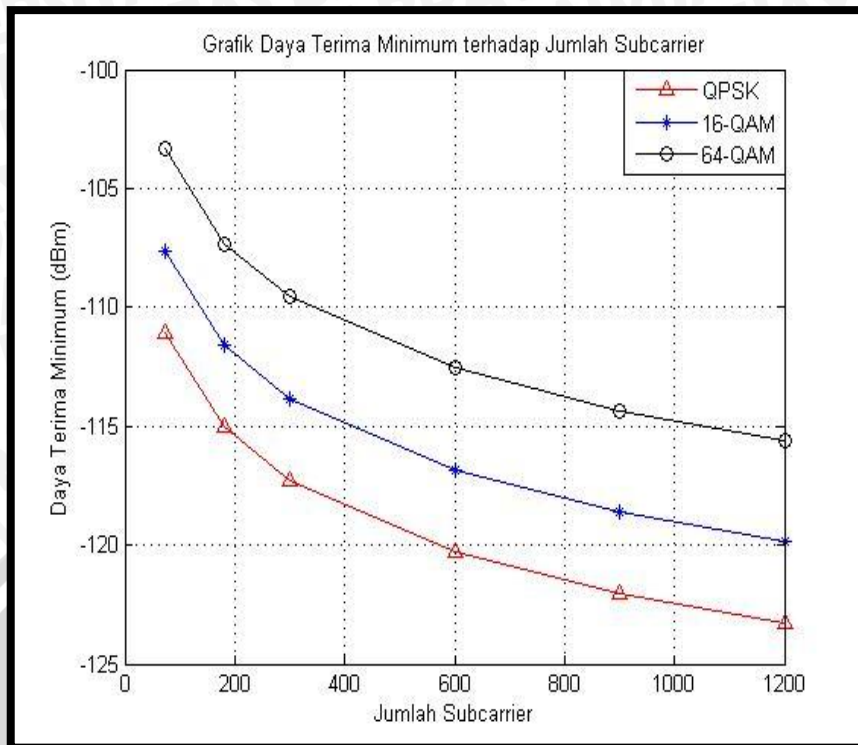
$$P_r = -111,06902 \text{ dBm}$$

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 4.12**

Tabel 4.12 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</i>	P_r (dBm)					
QPSK	-111,06902	-115,04842	-117,26691	-120,27721	-122,03812	-123,28751
16-QAM	-107,63732	-111,61672	-113,83521	-116,84551	-118,60642	-119,85581
64-QAM	-103,36102	-107,34042	-109,55891	-112,56921	-114,33012	-115,57951

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.2 Grafik Analisis Hubungan Daya Terima Minimum dengan Jumlah *Subcarrier*
(Sumber : Hasil perhitungan, 2012)

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa:

- Besarnya rugi-rugi propagasi dipengaruhi oleh frekuensi kerja LTE, 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 menyebabkan redaman/rugi-rugi semakin besar pula.
- 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.
- Besarnya daya pemancar yang diterima pada *receiver* dipengaruhi oleh besarnya rugi-rugi propagasi, serta banyaknya *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* yang digunakan.
- Redaman propagasi yang paling besar adalah 133,4957 dB pada jarak UE dan eNode-B sebesar 1,4 km dan yang paling kecil adalah 125,7877 dB pada jarak UE dan eNode-B sebesar 900 m.

- e) Sedangkan daya terima minimum pada *receiver* yang paling besar adalah pada saat menggunakan modulasi QPSK dan yang paling kecil adalah pada saat menggunakan modulasi 64-QAM.

Untuk menghitung nilai SNR sistem, harus diketahui besarnya daya *noise*, dimana daya *noise* untuk sistem modulasi QPSK pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz, jumlah *subcarrier* 72, dan *bandwidth* sistem sebesar 0,4371 Mbps saat CP= 0,0729 sebagai berikut

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

$$N_0 = 10 \cdot \text{Log}_{10} (1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \cdot \text{Log}_{10} (0,4371 \times 10^6) + 2$$

$$N_0 = -145,44 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan nilai daya *noise* untuk masing-masing *subcarrier* pada modulasi yang berbeda yang ditampilkan pada **Tabel 4.13** berikut **Tabel 4.13** Hasil Analisis Daya *Noise* Saluran Transmisi pada Tiap Kanal *Bandwidth* dengan CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Daya <i>Noise</i> (dBm)			
QPSK	-145,43	-145,44	-141,48	-141,48
16-QAM	-145,44	-145,44	-141,48	-141,48
64-QAM	-145,44	-145,44	-141,48	-141,48

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Daya <i>Noise</i> (dBm)			
QPSK	-139,26	-139,27	-136,26	-136,26
16-QAM	-139,26	-139,27	-136,26	-136,26
64-QAM	-139,26	-139,27	-136,26	-136,26

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Daya <i>Noise</i> (dBm)			
QPSK	-134,52	-134,53	-133,25	-133,25
16-QAM	-134,52	-134,53	-133,25	-133,25
64-QAM	-134,52	-134,53	-133,25	-133,25

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz dengan jumlah *subcarrier* sebesar 72, didapatkan nilai daya terima minimum sebesar -111,06902 dBm dengan modulasi QPSK. Sedangkan untuk daya *noise* pada kanal *bandwidth* tersebut saat menggunakan

cyclic prefix 0,0729, sebesar -145,43 dBm. Dari nilai-nilai tersebut, sesuai dengan Persamaan (2.18) perhitungan SNR (*Signal to Noise Ratio*) dapat dilakukan. Dimana

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

$$SNR_{(dB)} = (-111,06902) - (-145,43)$$

$$SNR_{(dB)} = 34,3568 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai SNR untuk masing-masing kanal *bandwidth* dengan CP yang berbeda-beda dan menggunakan tiga modulasi yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Hasil perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 4.14** berikut.

Tabel 4.14 Hasil Analisis SNR pada Tiap Kanal *Bandwidth* dengan CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	34,3568	34,3710	26,4266	26,4316
16-QAM	37,7927	37,8027	29,8583	29,8633
64-QAM	42,0690	42,0790	34,1346	34,1396
Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	21,9981	22,0031	15,9838	15,9858
16-QAM	25,4298	25,4348	19,4155	19,4175
64-QAM	29,7061	29,7111	23,6918	23,6938
Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	12,4819	12,4919	9,9665	9,9675
16-QAM	15,9136	15,9236	13,3982	13,3992
64-QAM	20,1899	20,1999	17,6745	17,6755

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Nilai SNR dipengaruhi oleh faktor *cyclic prefix* yang digunakan pada sistem tersebut. Pengaruh panjang CP yang digunakan terhadap SNR dapat diketahui melalui perhitungan sesuai dengan Persamaan (2.21), yakni untuk teknik modulasi QPSK dengan jumlah *subcarrier* 72 pada kanal *bandwidth* 1,4 Mhz dengan CP=0,0729, nilai SNR sistem sebagai berikut

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

$$34,3568 = 10 \text{ Log } (x)$$

$$34,3568 = 10 \text{ Log } (x)$$

$$x = 10^{3,43568} = 2726,9552$$

Sehingga didapatkan nilai SNR_{sistem} :

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

$$SNR_{sistem} = (1 - 0,0729) \times 2726,9552$$

$$SNR_{sistem} = 2528,1602$$

$$SNR_{sistem}(dB) = 34,0281 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama dapat diketahui nilai SNR sistem dengan CP yang berbeda-beda, pada kanal *bandwidth* yang berbeda dengan tiga jenis modulasi, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Nilai SNR ditunjukkan pada **Tabel 4.15** berikut

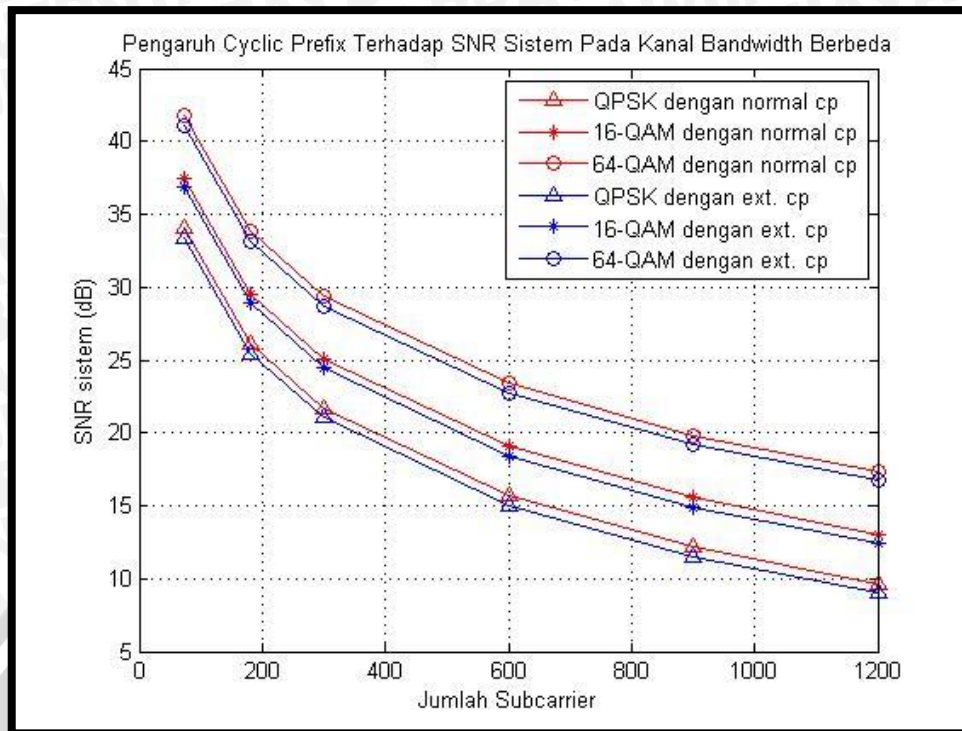
Tabel 4.15 Hasil Analisis SNR Sistem Saluran Transmisi pada Tiap Kanal *Bandwidth* dengan CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	34,0281	33,4019	26,0979	25,4625
16-QAM	37,4640	36,8336	29,5296	28,8942
64-QAM	41,7403	41,1099	33,8059	33,1705

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	21,6694	21,0340	15,6551	15,0167
16-QAM	25,1011	24,4657	19,0868	18,4484
64-QAM	29,3774	28,7420	23,3631	22,7247

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>SNR (dB)</i>			
QPSK	12,1532	11,5228	9,6378	8,9984
16-QAM	15,5849	14,9545	13,0695	12,4301
64-QAM	19,8612	19,2308	17,3458	16,7064

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.3 Grafik Analisis Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* Terhadap SNR Sistem pada Kanal *Bandwidth* Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Dari tabel hasil perhitungan analisis nilai SNR sistem dengan menggunakan panjang CP yang berbeda-beda dapat disimpulkan bahwa :

- Panjang *cyclic prefix* (CP) yang digunakan mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem. Semakin panjang CP, nilai SNR sistem semakin menurun. Panjang CP yang semakin besar, menyebabkan semakin besarnya daya *noise* pada kanal AWGN sehingga SNR sistem akan menurun. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh besarnya daya terima pada *receiver* yang dipengaruhi oleh jarak antara UE dan eNode-B dan juga besarnya daya *noise* pada saluran transmisi.
- Banyaknya jumlah *subcarrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* juga akan mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem, karena semakin banyak *subcarrier* yang digunakan akan mengakibatkan daya terima pada *receiver* berkurang, sehingga nilai SNR sistem menurun.
- SNR tertinggi didapatkan dengan teknik modulasi 64-QAM yaitu sebesar 33,1705 dB dikarenakan jarak layanan dengan modulasi ini lebih dekat dibandingkan saat menggunakan modulasi yang lain.

4.2.3. Analisis Kapasitas Kanal Sistem SC-FDMA pada Kanal *Uplink Long Term Evolution (LTE)* dengan *Cyclic Prefix*

Setelah nilai *bandwidth* dan SNR sistem SC-FDMA pada LTE diketahui, perhitungan yang bisa dilakukan selanjutnya adalah menghitung kapasitas kanal sistem. Parameter ini menunjukkan banyaknya jumlah bit per detik yang dapat ditransmisikan oleh sistem. Analisis kapasitas kanal dilakukan sesuai dengan Persamaan (2.23), cara menghitung kapasitas kanal pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz dengan menggunakan modulasi QPSK dan faktor CP=0,0729 adalah sebagai berikut

$$C_{SC-FDMA} = B_{Sistem} \cdot \text{Log}_2(1 + SNR_{sistem})$$

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

$$34,0281 = 10 \text{ Log } (x)$$

$$x = 10^{3,40281} = 2528,1602$$

Sehingga didapatkan nilai kapasitas kanal pada terminal UE:

$$C_{SC-FDMA} = B_{Sistem} \cdot \text{Log}_2(1 + SNR_{sistem})$$

$$C_{SC-FDMA} = 0,4371 \times 10^6 \text{ Log}_2(1 + 2528,1602)$$

$$C_{SC-FDMA} = 11,3059 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai kapasitas kanal dengan panjang CP yang berbeda, kanal *bandwidth* yang berbeda dengan menggunakan tiga jenis modulasi yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM yang ditunjukkan pada **Tabel 4.16** berikut

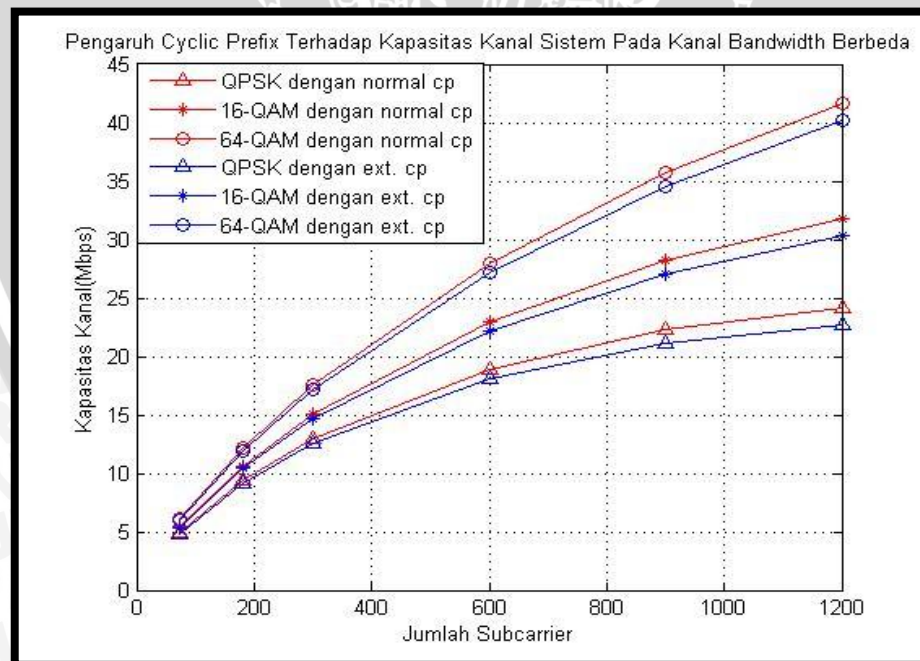
Tabel 4.16 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Sistem pada Tiap Kanal *Bandwidth* dengan CP Berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Kapasitas Kanal(Mbps)			
QPSK	4,9412	4,8335	9,4114	9,1705
16-QAM	5,4394	5,3299	10,6464	10,4034
64-QAM	6,0603	5,9487	12,1868	11,9414

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Kapasitas Kanal(Mbps)			
QPSK	13,0116	12,6219	18,8877	18,1371
16-QAM	15,0598	14,6669	22,9218	22,1578
64-QAM	17,6191	17,2232	28,0032	27,2308

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	Kapasitas Kanal(Mbps)			
QPSK	22,2520	21,1693	24,1396	22,7647
16-QAM	28,1643	27,0424	31,7812	30,3215
64-QAM	35,7096	34,5649	41,7058	40,1965

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

**Gambar 4.4** Grafik Analisis Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* terhadap Kapasitas Kanal Sistem pada Kanal *Bandwidth* Berbeda

Sumber: Hasil Perhitungan, 2012

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai kapasitas kanal sistem dipengaruhi oleh SNR sistem dan juga *bandwidth* sistem SC-FDMA.
- Panjang *cyclic prefix* berpengaruh terhadap kapasitas kanal. Hal ini dikarenakan, ketika menggunakan *extended CP*, nilai SNR sistem menurun dibandingkan dengan normal CP sehingga besarnya kapasitas kanal juga menurun.
- Untuk teknik modulasi dan banyaknya jumlah *subcarrier* juga berpengaruh terhadap nilai kapasitas kanal. Perbedaan modulasi yang digunakan menyebabkan laju datanya juga berbeda. Semakin besar laju data, maka akan menghasilkan kapasitas kanal yang semakin besar pula. Sedangkan ketika jumlah *subcarrier*nya bertambah, *bandwidth* sistem juga bertambah, sehingga nilai kapasitas kanal juga ikut bertambah. Nilai kapasitas kanal terbesar bernilai 41,7058 Mbps didapatkan saat menggunakan teknik modulasi 64-QAM dengan CP = 0,0729 dan jumlah *subcarrier* sebesar 1200.

4.2.4. Analisis *Bit Error Rate* (BER) Sistem SC-FDMA pada Kanal *Uplink Long Term Evolution* (LTE) dengan *Cyclic Prefix*

Perhitungan BER sistem merupakan analisis terakhir yang akan dilakukan pada bab ini. BER merupakan besaran yang menyatakan banyaknya bit yang *error* saat ditransmisikan dibagi seluruh bit yang ditransmisikan. Namun, untuk menganalisis nilai BER dibutuhkan nilai E_b/N_o . E_b/N_o merupakan perbandingan energi sinyal per bit terhadap *noise*. Nilai ini sangat berkaitan dengan besarnya SNR sistem. Pada teknik modulasi QPSK dengan jumlah *subcarrier*nya 72 dan faktor CP 0,0729, didapatkan nilai SNR sistem sebesar 34,0281 dB. Maka nilai E_b/N_o adalah sebagai berikut

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR_{sistem} - 10 \text{ Log } \frac{B_{sistem}}{R_{tot}}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 34,0281 - 10 \text{ Log } \frac{0,4371 \times 10^6}{0,801 \times 10^6}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 36,6586 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai E_b/N_o untuk masing-masing *subcarrier* dengan tiga teknik modulasi dan CP yang berbeda-beda. Hasilnya ditampilkan pada **Tabel 4.17** berikut

Tabel 4.17 Hasil Analisis E_b/N_o

Kanal Bandwidth	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah Subcarrier	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	$\frac{E_b}{N_o}$ (dB)			
QPSK	36,6586	35,4071	28,7600	27,4892
16-QAM	43,1048	41,8491	35,2009	33,9312
64-QAM	49,1420	47,8863	41,2385	39,9684

Kanal Bandwidth	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah Subcarrier	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	$\frac{E_b}{N_o}$ (dB)			
QPSK	24,3393	23,0665	18,3304	17,0535
16-QAM	30,7806	29,5085	24,7724	23,4956
64-QAM	36,8180	35,5457	30,8096	29,5328

Kanal Bandwidth	15 MHz		20 MHz	
Jumlah Subcarrier	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
Modulation	$\frac{E_b}{N_o}$ (dB)			
QPSK	14,8308	13,5611	12,3162	11,0374
16-QAM	21,2726	20,0031	18,7584	17,4794
64-QAM	27,3111	26,0403	24,7955	23,5166

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Setelah didupatkannya nilai E_b/N_o , maka perhitungan BER dapat dilakukan sesuai dengan Persamaan (2.25) dan (2.26) dimana perhitungan BER tergantung dari modulasi yang digunakan.

- 1) Modulasi QPSK, dengan CP=0,0729

Untuk nilai $E_b/N_o= 36,6586$ dB:

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{36,6586} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(6,05463)
 \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi}x} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times (6,05463)^2}} e^{-(6,05463)^2} \\ &\approx 0,1104 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \times \approx 0,1104 \times 10^{-16} \\ P_{b,QPSK} &= 0,0552 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan analisis BER untuk kanal *bandwidth* yang berbeda.

2) Modulasi 16-QAM, dengan panjang CP 0,0729

Untuk nilai $E_b/N_0 = 43,1048$ dB:

$$\begin{aligned} P_{b,M-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} \times \operatorname{erfc} \times \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{4(M-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \right) \\ P_{b,16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2(16)} \times \operatorname{erfc} \times \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(16)}{4(16-1)} \times 43,1048} \right) \\ &= 0,375 \times \operatorname{erfc} \times (2,9361) \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi}x} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times (2,9361)^2}} e^{-(2,9361)^2} \\ &\approx 3,29 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{b,16-QAM} &= 0,375 \times 3,29 \times 10^{-5} \\ P_{b,16-QAM} &= 1,2341 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai BER saat menggunakan teknik modulasi yang berbeda-beda pada kanal *bandwidth* yang berbeda-beda pula.

Modulasi 64-QAM, dengan CP 0,0729

Untuk nilai Eb/No= 49,1420 dB:

$$P_{b,64-QAM} = \frac{2(\sqrt{64}-1)}{\sqrt{64 \log_2(64)}} \times \operatorname{erfc} \times \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(64)}{4(64-1)}} \times 49,1420 \right)$$

$$= 0,29167 \times \operatorname{erfc} \times (1,8441)$$

Dimana,

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

$$\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times (1,8441)^2}} e^{-(1,8441)^2}$$

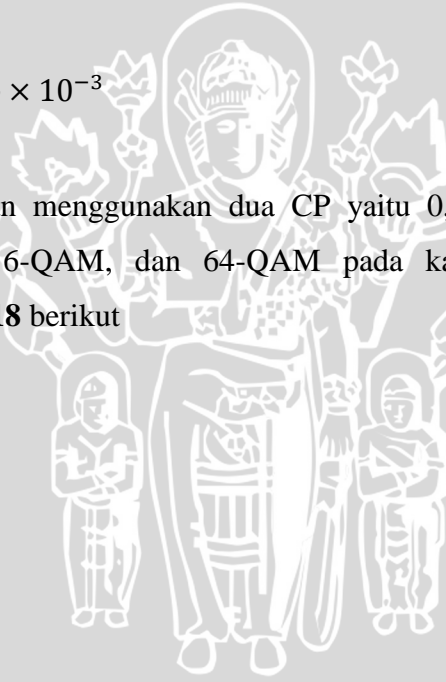
$$\approx 9,1 \times 10^{-3}$$

Sehingga,

$$P_{b,64-QAM} = 0,29167 \times 9,1 \times 10^{-3}$$

$$P_{b,64-QAM} = 2,654 \times 10^{-3}$$

Hasil analisis BER dengan menggunakan dua CP yaitu 0,0729 dan 0,2, tiga jenis modulasi yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM pada kanal bandwidth berbeda, ditampilkan pada **Tabel 4.18** berikut



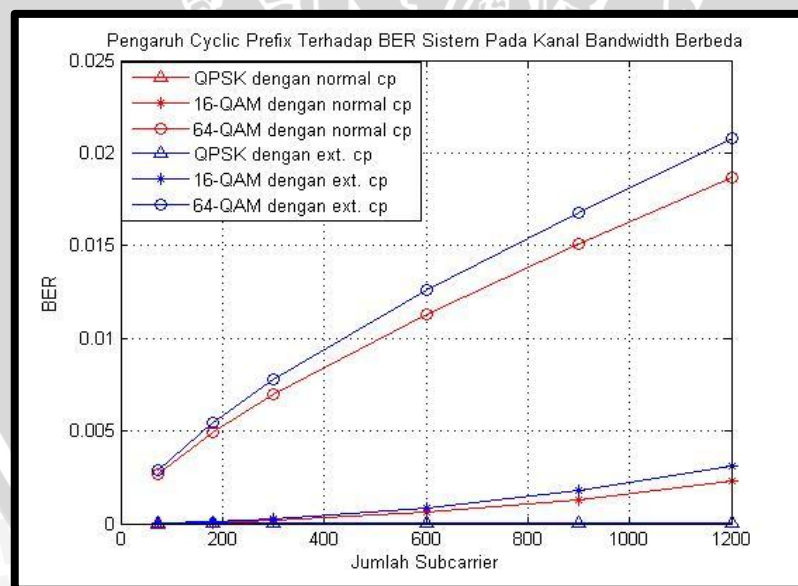
Tabel 4.18 Hasil Analisis BER Sistem pada tiap kanal *Bandwidth* dengan CP berbeda

Kanal <i>Bandwidth</i>	1,4 MHz		3,0 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	72		180	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>BER</i>			
QPSK	0,05 E-16	0,01 E-15	1,67 E-14	6,09 E-14
16-QAM	1,23 E-05	1,61 E-05	6,57 E-05	8,61 E-05
64-QAM	2,65 E-03	2,92 E-03	4,93 E-03	5,45 E-03

Kanal <i>Bandwidth</i>	5,0 MHz		10 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	300		600	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>BER</i>			
QPSK	1,51 E-12	5,52 E-12	7,03 E-12	2,61 E-09
16-QAM	1,69 E-04	2,22 E-04	0,60 E-03	0,83 E-03
64-QAM	7,00 E-03	7,76 E-03	1,13 E-02	1,26 E-02

Kanal <i>Bandwidth</i>	15 MHz		20 MHz	
Jumlah <i>Subcarrier</i>	900		1200	
Faktor CP (α_{cp})	0,0729	0,2	0,0729	0,2
<i>Modulation</i>	<i>BER</i>			
QPSK	0,03 E-08	9,55 E-08	0,35 E-06	1,31 E-06
16-QAM	1,31 E-03	1,76 E-03	2,32 E-03	3,08 E-03
64-QAM	1,51 E-02	1,68 E-02	1,87 E-02	2,08 E-02

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

**Gambar 4.5** Grafik Analisis Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* terhadap BER Sistem pada Kanal *Bandwidth* Berbeda

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

- a) Panjang *cyclic prefix* berpengaruh terhadap nilai BER. Saat menggunakan CP=0,2, BER yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan saat menggunakan CP=0,0729. Ini berarti ketika menggunakan CP=0,2 bit yang *error* lebih banyak dibandingkan saat menggunakan CP=0,0729.
- b) Nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai Eb/No. Saat menggunakan *extended* CP, nilai SNR sistem dan *bandwidth* sistem menurun dibandingkan dengan saat menggunakan normal CP. Hal ini juga menyebabkan nilai Eb/No semakin kecil. Semakin kecilnya Eb/No, nilai BER akan semakin besar.
- c) Semakin kecil nilai BER yang didapatkan, maka kualitas sistem transmisi yang digunakan akan semakin baik. Hal ini dikarenakan BER merupakan jumlah *bit error* dari semua *bit* yang ditransmisikan. BER paling baik didapatkan saat menggunakan CP=0,0729 dengan modulasi QPSK dan jumlah *subcarrier* 72 yaitu sebesar $0,05 \times 10^{-16}$ dan BER paling besar saat menggunakan CP=0,2 dengan modulasi 64-QAM dan jumlah subcarrier 1200 yaitu $2,08 \times 10^{-2}$.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis pengaruh panjang *cyclic prefix* terhadap performansi SC-FDMA pada LTE dan simulasi perhitungan menggunakan Matlab 7.1.0.246 (R14), maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis *bandwidth* sistem SC-FDMA pada LTE, dapat disimpulkan bahwa :

Besarnya *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh panjang *cyclic prefix*, laju data dan jumlah *subcarrier*. *Bandwidth* sistem tidak dipengaruhi oleh modulasi yang digunakan. *Bandwidth* sistem paling besar 7,2051 MHz dengan panjang *cyclic prefix* 0,0729 pada kanal *bandwidth* 20 MHz dengan jumlah *subcarrier* 1200. Sedangkan *bandwidth* sistem yang paling kecil adalah 0,4356 MHz dengan panjang *cyclic prefix* 0,2 pada kanal *bandwidth* 1,4 MHz dengan jumlah *subcarrier* 72.

2. Berdasarkan hasil analisis SNR sistem SC-FDMA pada LTE, dapat disimpulkan bahwa :

Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh panjang *cyclic prefix* yang digunakan, besarnya daya terima di *receiver*, dan jumlah *subcarrier*. Besarnya SNR sistem SC-FDMA paling besar adalah 41,7403 dB dengan panjang *cyclic prefix* 0,0729 dan teknik modulasi 64-QAM dengan jumlah *subcarrier* 72. Sedangkan nilai SNR sistem yang paling kecil adalah 8,9984 dB dengan panjang *cyclic prefix* 0,2 dan teknik modulasi QPSK dengan jumlah *subcarrier* 1200.

3. Berdasarkan hasil analisis kapasitas kanal sistem SC-FDMA pada LTE, dapat disimpulkan bahwa :

Besarnya kapasitas kanal sistem dipengaruhi oleh SNR sistem, panjang *cyclic prefix*, jumlah *subcarrier*, dan modulasi yang digunakan dimana akan berpengaruh terhadap laju datanya. Kapasitas kanal sistem paling besar adalah 41,7058 Mbps dengan menggunakan panjang *cyclic prefix* 0,0729 dan teknik modulasi 64-QAM dengan jumlah *subcarrier* 1200. Sedangkan kapasitas kanal sistem paling kecil sebesar 4,8335 Mbps saat panjang *cyclic prefix* sebesar 0,2 dan teknik modulasi QPSK dengan jumlah *subcarrier* 72.

4. Berdasarkan hasil analisis BER sistem SC-FDMA pada LTE, dapat disimpulkan bahwa:
Besarnya nilai BER sistem dipengaruhi oleh panjang *cyclic prefix*, E_b/N_0 , serta bertambah seiring bertambahnya laju data. Nilai BER yang paling besar $2,08 \times 10^{-2}$ dengan panjang *cyclic prefix* 0,2 dan teknik modulasi 64-QAM. Sedangkan nilai BER yang paling kecil adalah $0,05 \times 10^{-16}$ dengan panjang *cyclic prefix* 0,0729 dan teknik modulasi QPSK. Dengan meningkatnya BER sistem maka semakin banyak *bit* yang salah dalam pentransmisian dari titik asal ke titik tujuan. Sehingga penggunaan teknik modulasi QPSK lebih baik daripada penggunaan teknik modulasi 16-QAM.
5. Sesuai dengan hasil perhitungan dan analisis maka panjang *cyclic prefix* yang lebih baik digunakan adalah normal *cyclic prefix* dengan panjang *cyclic prefix* 0,0729 dibandingkan dengan *extended cyclic prefix* yang panjangnya *cyclic prefix* 0,2. Hal ini dikarenakan saat menggunakan normal *cyclic prefix*, *bandwidth* sistem lebih besar, SNR sistem yang dihasilkan lebih besar, semakin banyak data yang ditransmisikan dalam satu detik dan BER sistem lebih kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut yaitu:

1. Menganalisis pengaruh *cyclic prefix* untuk sistem SC-FDMA pada LTE dengan menggunakan jumlah simbol yang lebih banyak dalam satu *subframe* sehingga dapat terlihat pengaruh banyaknya simbol terhadap performansi SC-FDMA pada LTE.
2. Skripsi ini bisa dikembangkan dengan membahas dan mengembangkan pengaruh *handover* , yakni *user* dalam keadaan bergerak sehingga dapat dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap performansi SC-FDMA pada LTE.

DAFTAR PUSTAKA

- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Hara, Shisuke and Ramjee Prasaad. 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, Harri and Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*. UK: British Library
- 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>
- Hyung G. Myung. 2009. *Single Carrier FDMA a New Air interface for LTE*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- K. Fazel, S. Kaiser. 2008. *Multicarrier and Spread Spectrum Systems*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Khan, Farooq. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. New York:Cambridge University Press
- 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/>
- Rasyid, Abdul. 2009. *Karakteristik Propagasi Gelombang Radio Telekomunikasi*. <https://mandorkawat2009.wordpress.com/tag/multipath-fading-shadowing-difraksi-model-propagasi/>
- Riyansyah, Deris. 2010. *Long Term Evolution (LTE) dan Komponen BTS (Base Transceiver Station)*. Universitas Indonesia.
- Rumney, Moray. 2009. *3GPP LTE: Introducing Single Carrier FDM* (Paper). Aligent Technology
- Sayidah, Atikah. 2011. *Perfomansi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

- Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution (From Theory to Practice)*. UK : British Library
- Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution (Pocket Dictionary of Acronims)*. UK : British Library
- Utari, Surya Dwi. 2011. *Pengaruh Panjang Cyclic Prefix terhadap Kinerja OFDMA pada Mobile WiMAX*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Xinzhu, Jin. 2007. *Channel Estimation Techniques of SC-FDMA (Thesis)*. Karlstad University.
- Xiong, Fuqin. 2006. *Digital Communication Technique*. Boston: London
- Rudyanto, Yusup. 2010. *Lapisan Fisik pada Teknologi Long Term Evolution di PT. Telkom R&D Bandung*. Semarang: Universitas Diponegoro



LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

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
s=6*1000;       %jumlah simbol per subframe (ms)
cp1=0.0729;     %normal cyclic prefix
cp2=0.2;        %extended cyclic prefix
Rtot1=b1*N*s*(1-cp1) %laju data QPSK dengan normal CP
Rtot2=b2*N*s*(1-cp1) %laju data 16-QAM dengan normal CP
Rtot3=b3*N*s*(1-cp1) %laju data 64-QAM dengan normal CP
Rtot4=b1*N*s*(1-cp2) %laju data QPSK dengan extended CP
Rtot5=b2*N*s*(1-cp2) %laju data 16-QAM dengan extended CP
Rtot6=b3*N*s*(1-cp2) %laju data 64-QAM dengan extended CP
M1=4;           %nilai M QPSK
M2=16;          %nilai M 16-QAM
M3=64;          %nilai M 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M1)) %bandwidth
system QPSK dengan normal CP
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M2)) %bandwidth
system 16-QAM dengan normal CP
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M3)) %bandwidth
system 64-QAM dengan normal CP
Bwsistem4=(Rtot4.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M1)) %bandwidth
system QPSK dengan extended CP
Bwsistem5=(Rtot5.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M2)) %bandwidth
system 16-QAM dengan extended CP
Bwsistem6=(Rtot6.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M3)) %bandwidth
system 64-QAM dengan extended CP
plot(N,Bwsistem1,'-^red',N,Bwsistem2,'-*red',N,Bwsistem3,'-
ored',N,Bwsistem4,'-^blue',N,Bwsistem5,'-*blue',N,Bwsistem6,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Pengaruh Cyclic Prefix Terhadap Bandwidth Sistem Pada Kanal
Bandwidth Berbeda');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Bandwidth Sistem (MHz)');

```

LAMPIRAN 2

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 tipr terrain B
b=0.0065; %konstanta tipr terrain B
c=17.1; %konstanta tipr terrain B
f=2.6*10^9; %frekuensi kerja LTE
pi=3.14; %phi
hb=50; %tinggi antena node B (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-3.4; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf-3.4; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf-3.4; %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=6*1000; %jumlah simbol per subframe (ms)
cp1=0.0729; %normal CP
cp2=0.2; %extended CP
Rtot1=b1*N*s*(1-cp1); %laju data QPSK dengan normal CP
Rtot2=b2*N*s*(1-cp1); %laju data 16-QAM dengan normal CP
Rtot3=b3*N*s*(1-cp1); %laju data 64-QAM dengan normal CP
Rtot4=b1*N*s*(1-cp2); %laju data QPSK dengan extended CP
Rtot5=b2*N*s*(1-cp2); %laju data 16-QAM dengan extended CP
Rtot6=b3*N*s*(1-cp2); %laju data 64-QAM dengan extended CP
M1=4; %nilai M untuk QPSK
M2=16; %nilai M untuk 16-QAM
M3=64; %nilai M untuk 64-QAM
Bwsistem1=(Rtot1.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK dengan normal CP

```

```

Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM dengan normal CP
Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
sistem untuk 64-QAM dengan normal CP
Bwsistem4=(Rtot4.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK dengan extended CP
Bwsistem5=(Rtot5.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM dengan extended CP
Bwsistem6=(Rtot6.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
sistem untuk 64-QAM dengan extended CP
NF=2; % noise figure pada node-B
Nawgn=10*log10(1.38*10^-23.*300); %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
Nrf4=10.*Log10(Bwsistem4); %noise pada kanal Rayleigh Fading
QPSK
Nrf5=10.*Log10(Bwsistem5); %noise pada kanal Rayleigh Fading
16-QAM
Nrf6=10.*Log10(Bwsistem6); %noise pada kanal Rayleigh Fading
64-QAM
N01=Nawgn+Nrf1+NF; %noise QPSK
N02=Nawgn+Nrf2+NF; %noise 16-QAM
N03=Nawgn+Nrf3+NF; %noise 64-QAM
N04=Nawgn+Nrf4+NF; %noise QPSK
N05=Nawgn+Nrf5+NF; %noise 16-QAM
N06=Nawgn+Nrf6+NF; %noise 64-QAM
SNR1=Pr3-N01; %SNR sistem QPSK
SNR2=Pr2-N02; %SNR sistem 16-QAM
SNR3=Pr1-N03; %SNR sistem 64-QAM
SNR4=Pr3-N04; %SNR sistem QPSK
SNR5=Pr2-N05; %SNR sistem 16-QAM
SNR6=Pr1-N06; %SNR sistem 64-QAM
x1=10.^(SNR1/10);
x2=10.^(SNR2/10);
x3=10.^(SNR3/10);
x4=10.^(SNR4/10);
x5=10.^(SNR5/10);
x6=10.^(SNR6/10);
SNRsistem1=(1-cp1).*x1; %SNR QPSK dengan normal CP
SNRsistem2=(1-cp1).*x2; %SNR 16-QAM dengan normal CP
SNRsistem3=(1-cp1).*x3; %SNR 64-QAM dengan normal CP
SNRsistem4=(1-cp2).*x4; %SNR QPSK dengan extended CP
SNRsistem5=(1-cp2).*x5; %SNR 16-QAM dengan extended CP
SNRsistem6=(1-cp2).*x6; %SNR 64-QAM dengan extended CP
SNRdb1=10*log10(SNRsistem1); %SNR sistem (dB) QPSK dengan normal CP
SNRdb2=10*log10(SNRsistem2); %SNR sistem (dB) 16-QAM dengan normal
CP
SNRdb3=10*log10(SNRsistem3); %SNR sistem (dB) 64-QAM dengan normal
CP
SNRdb4=10*log10(SNRsistem4); %SNR sistem (dB) QPSK dengan extended
CP
SNRdb5=10*log10(SNRsistem5); %SNR sistem (dB) 16-QAM dengan
extended CP
SNRdb6=10*log10(SNRsistem6); %SNR sistem (dB) 64-QAM dengan
extended CP
plot(N, SNRdb1, '-^red', N, SNRdb2, '-*red', N, SNRdb3, '-ored', N, SNRdb4, '-
^blue', N, SNRdb5, '-*blue', N, SNRdb6, '-oblue');

```



```
hold on;  
grid on;  
title('Pengaruh Cyclic Prefix Terhadap SNR Sistem Pada Kanal Bandwidth  
Berbeda');  
xlabel('Jumlah Subcarrier');  
ylabel('SNR sistem (dB)');
```



LAMPIRAN 3

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 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-3.4; %PL 64-QAM
PL2=A+gamma2+s+PLh+PLf-3.4; %PL 16-QAM
PL3=A+gamma3+s+PLh+PLf-3.4; %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=6*1000;          %jumlah simbol per subframe (ms)
cp1=0.0729;        %normal CP
cp2=0.2;           %extended CP
Rtot1=b1*N*s*(1-cp1); %laju data QPSK
Rtot2=b2*N*s*(1-cp1); %laju data 16-QAM
Rtot3=b3*N*s*(1-cp1); %laju data 64-QAM
Rtot4=b1*N*s*(1-cp2); %laju data QPSK
Rtot5=b2*N*s*(1-cp2); %laju data 16-QAM
Rtot6=b3*N*s*(1-cp2); %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-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
sistem untuk QPSK
Bwsistem2=(Rtot2.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
sistem untuk 16-QAM

```

```

Bwsistem3=(Rtot3.*(2*(1-cp1)+N-1))./((1-cp1)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
system untuk 64-QAM
Bwsistem4=(Rtot4.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M1)); %Bandwidth
system untuk QPSK
Bwsistem5=(Rtot5.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M2)); %Bandwidth
system untuk 16-QAM
Bwsistem6=(Rtot6.*(2*(1-cp2)+N-1))./((1-cp2)*N.*log2(M3)); %Bandwidth
system 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
Nrf4=10.*Log10(Bwsistem4); %noise pada kanal Rayleigh Fading
QPSK
Nrf5=10.*Log10(Bwsistem5); %noise pada kanal Rayleigh Fading
16-QAM
Nrf6=10.*Log10(Bwsistem6); %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
N01=Nawgn+Nrf1+NF; %noise QPSK
N02=Nawgn+Nrf2+NF; %noise 16-QAM
N03=Nawgn+Nrf3+NF; %noise 64-QAM
N04=Nawgn+Nrf4+NF; %noise QPSK
N05=Nawgn+Nrf5+NF; %noise 16-QAM
N06=Nawgn+Nrf6+NF; %noise 64-QAM
SNR1=Pr3-N01; %SNR sistem QPSK
SNR2=Pr2-N02; %SNR sistem 16-QAM
SNR3=Pr1-N03; %SNR sistem 64-QAM
SNR4=Pr3-N04; %SNR sistem QPSK
SNR5=Pr2-N05; %SNR sistem 16-QAM
SNR6=Pr1-N06; %SNR sistem 64-QAM
x1=10.^(SNR1/10);
x2=10.^(SNR2/10);
x3=10.^(SNR3/10);
x4=10.^(SNR4/10);
x5=10.^(SNR5/10);
x6=10.^(SNR6/10);
SNRsistem1=(1-cp1).*x1;
SNRsistem2=(1-cp1).*x2;
SNRsistem3=(1-cp1).*x3;
SNRsistem4=(1-cp2).*x4;
SNRsistem5=(1-cp2).*x5;
SNRsistem6=(1-cp2).*x6;
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
SNRdb4=10*log10(SNRsistem4); %SNR sistem(dB) dengan cp QPSK
SNRdb5=10*log10(SNRsistem5); %SNR sistem(dB) dengan cp 16-QAM
SNRdb6=10*log10(SNRsistem6); %SNR sistem(dB) dengan cp 64-QAM
xdb1=10.^(SNRdb1/10);
xdb2=10.^(SNRdb2/10);
xdb3=10.^(SNRdb3/10);
xdb4=10.^(SNRdb4/10);
xdb5=10.^(SNRdb5/10);
xdb6=10.^(SNRdb6/10);

```

```
Cscfdma1=(Bwsistem1.*log2(1+xdb1))/10^6 %kapasitas kanal sistem
QPSK
Cscfdma2=(Bwsistem2.*log2(1+xdb2))/10^6 %kapasitas kanal sistem 16-
QAM
Cscfdma3=(Bwsistem2.*log2(1+xdb3))/10^6 %kapasitas kanal sistem 64-
QAM
Cscfdma4=(Bwsistem4.*log2(1+xdb4))/10^6 %kapasitas kanal sistem
QPSK
Cscfdma5=(Bwsistem5.*log2(1+xdb5))/10^6 %kapasitas kanal sistem 16-
QAM
Cscfdma6=(Bwsistem6.*log2(1+xdb6))/10^6 %kapasitas kanal sistem 64-
QAM
plot(N,Cscfdma1,'-^red',N,Cscfdma2,'-*red',N,Cscfdma3,'-
ored',N,Cscfdma4,'-^blue',N,Cscfdma5,'-*blue',N,Cscfdma6,'-obblue');
hold on;
grid on;
title('Pengaruh Cyclic Prefix Terhadap Kapasitas Kanal Sistem Pada
Kanal Bandwidth Berbeda');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
```



LAMPIRAN 4

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem

```
BER1=[0.05*10^-16,1.67*10^-14,1.51*10^-12,7.03*10^-12,0.03*10^-8,0.35*10^-6];
BER2=[1.23*10^-5,6.57*10^-5,1.69*10^-4,0.6*10^-3,1.31*10^-3,2.32*10^-3];
BER3=[2.65*10^-3,4.93*10^-3,7.00*10^-3,1.13*10^-2,1.51*10^-2,1.87*10^-2];
BER4=[0.01*10^-15,6.09*10^-14,5.52*10^-12,2.61*10^-9,9.95*10^-8,1.31*10^-6];
BER5=[1.61*10^-5,8.61*10^-5,2.22*10^-4,0.83*10^-3,1.76*10^-3,3.08*10^-3];
BER6=[2.92*10^-3,5.45*10^-3,7.76*10^-3,1.26*10^-2,1.68*10^-2,2.08*10^-2];
N=[72,180,300,600,900,1200];
plot(N,BER1,'-^red',N,BER2,'-*red',N,BER3,'-ored',N,BER4,'-^blue',N,BER5,'-*blue',N,BER6,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Pengaruh Cyclic Prefix Terhadap BER Sistem Pada Kanal Bandwidth Berbeda');
xlabel('Jumlah Subcarrier');
ylabel('BER');
```

