

**ANALISIS KINERJA *SINGLE INPUT MULTIPLE OUTPUT*
SINGLE CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE
ACCESS (SIMO SC-FDMA) PADA KANAL UPLINK LONG
*TERM EVOLUTION (LTE)***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**NURLITA YANUARNI
NIM. 0810630081 – 63**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KINERJA *SINGLE INPUT MULTIPLE OUTPUT SINGLE CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SIMO SC-FDMA)*
PADA KANAL *UPLINK LONG TERM EVOLUTION (LTE)***

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

**NURLITA YANUARNI
NIM. 0810630081 – 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

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA *SINGLE INPUT MULTIPLE OUTPUT*
SINGLE CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS
(SIMO SC-FDMA) PADA KANAL *UPLINK LONG TERM*
*EVOLUTION (LTE)***

Disusun Oleh :

NURLITA YANUARNI

NIM. 0810630081 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 13 Agustus 2012

Majelis Penguji :

Ir. Erfan Achmad Dahlan
NIP. 19530714 198203 1 003

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

Dwi Fadilla Kurniawan, S.T., M.T
NIP. 19720630 200003 1 002

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

PENGANTAR

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

Skripsi ini menganalisis kinerja penggunaan teknik antena jamak SIMO pada kanal *uplink* LTE dengan parameter kinerja yang diamati adalah *signal to noise ratio*, *bit error rate* sistem, dan kapasitas kanal

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

1. Keluarga tercinta, Ibunda Nurul Sjamsijah, Ayahanda M. Setyo Poerwoko, kakakku Novita Nuraini dan Nurdiana Setyani, adikku Nur Alfianti Putri, serta keluarga besar atas dukungan, kasih sayang dan do'a yang tidak pernah terputus.
2. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T, 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 dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
5. Sahabat-sahabatku d'Ongs *family* (Dissa, Upit, Karin, Vita, Nien, Nuha, Nisa, Taufik, Ibor, Edwin), teman, keluarga besar TEUB Angkatan 2008 (Concordes) terutama Paket C (Telekomunikasi) 2008 atas persahabatan, saran, kebersamaan, serta kerjasamanya selama ini.
6. 1_CTTT yang telah banyak memberikan semangat, saran, waktu, dan kesabaran selama ini.
7. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidaksempurnaan. 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, Agustus 2012

Penulis



DAFTAR ISI

halaman

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
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	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Long Term Evolution</i> (LTE)	6
2.1.1 Spesifikasi Teknis LTE.....	6
2.1.2 Arsitektur Jaringan LTE	7
2.1.3 Arsitektur <i>Radio Access Network</i> (RAN)	9
2.1.4 Arsitektur Radio Protokol.....	10
2.1.5 Teknik Akses	11
2.1.6 Teknik Dupleks.....	12
2.1.7 Struktur <i>Frame</i> LTE	13
2.2 Modulasi.....	14
2.2.1 Teknik Modulasi Adaptif.....	15
2.2.2 Modulasi <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK)	16
2.2.3 Modulasi <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (QAM)	18
2.3 Skema Transmisi Kanal <i>Uplink</i> LTE.....	20
2.4 <i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access</i> (SC-FDMA).....	23
2.4.1 Blok Diagram SC-FDMA	24



2.4.2	<i>Resource Block Uplink LTE</i>	29
2.5	Kanal Propagasi	32
2.5.1	Kanal AWGN	32
2.5.2	Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	34
2.6	Model Propagasi	37
2.6.1	Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i>	37
2.6.1.1	Propagasi <i>Outdoor</i>	37
2.6.1.2	Propagasi <i>Indoor</i>	37
2.6.2	Model Propagasi ECC 33	38
2.7	Teknik Diversitas	39
2.7.1	<i>Single Input Single Output (SISO)</i>	41
2.7.2	<i>Single Input Multiple Output (SIMO)</i>	42
2.7.2	<i>Maximal Ratio Combining (MRC)</i>	42
2.8	<i>Single Input Multiple Output Single Carrier - Frequency Division Multiple Access (SIMO SC-FDMA) pada Long Term Evolution (LTE)</i>	44
2.8.1	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	45
2.8.2	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	48
2.8.3	Kapasitas Kanal Sistem	49
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		50
3.1	Studi Literatur	50
3.2	Pengambilan Data	51
3.3	Perhitungan dan Analisis Data.....	52
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		58
4.1	Umum	58
4.2	Analisis Pengaruh <i>Single Input Multiple Output (SIMO)</i> terhadap Kinerja <i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)</i> pada <i>Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)</i>	58
4.2.1	Analisis Pengaruh SIMO Terhadap <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i> Sistem LTE.....	59
4.2.2	Analisis Pengaruh SIMO Terhadap <i>Bit Error Rate (BER)</i> Sistem LTE	71



4.2.3 Analisis Pengaruh SIMO Terhadap Kapasitas Kanal Sistem LTE 81

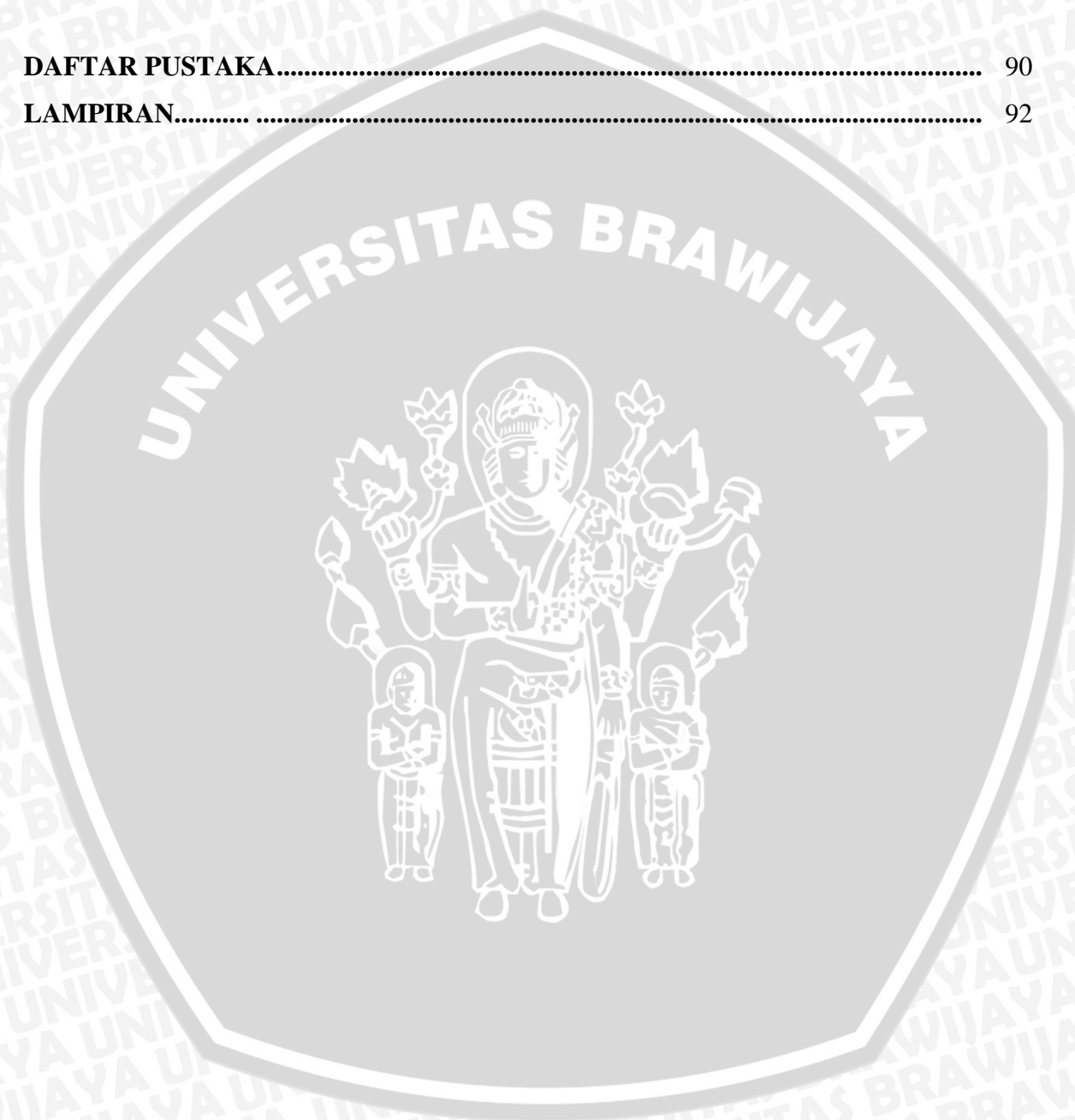
BAB V PENUTUP 87

5.1 Kesimpulan 88

5.2 Saran 88

DAFTAR PUSTAKA 90

LAMPIRAN 92



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE.....	7
Gambar 2.2 Perbandingan RAN arsitektur antara LTE dan WCDMA/HSPA.....	10
Gambar 2.3 <i>User and Control Plane Protocol Stack</i>	10
Gambar 2.4 Struktur Frame Pada Kanal <i>Uplink</i> dan <i>Downlink</i> LTE.....	13
Gambar 2.5 Penggunaan subframe <i>Downlink</i> dan <i>Uplink</i> untuk FDD	14
Gambar 2.6(a) <i>Subframe Downlink</i> untuk TDD	14
Gambar 2.6(b) <i>Subframe Uplink</i> untuk TDD.....	14
Gambar 2.7 Penggunaan Modulasi Adaptif Pada Kondisi <i>Link</i> Radio yang Berbeda.....	15
Gambar 2.8 Konstelasi Sinyal QPSK.....	16
Gambar 2.9 Diagram Blok Modulator QPSK	17
Gambar 2.10 Sinyal Keluaran Modulator QPSK	18
Gambar 2.11 Blok Modulator QAM	19
Gambar 2.12(a) Konstelasi 16-QAM.....	20
Gambar 2.12(b) Konstelasi 64-QAM.....	20
Gambar 2.13 Diagram Blok Kanal <i>Uplink</i> LTE.....	21
Gambar 2.14(a) <i>Subcarrier</i> OFDM	23
Gambar 2.14(b) <i>Subcarrier</i> SC-FDMA	23
Gambar 2.15 Ilustrasi Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA.....	24
Gambar 2.16 Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem SC-FDMA.....	22
Gambar 2.17 Penggunaan <i>Cyclic Prefix</i> untuk Menghindari Terjadinya <i>Inter-Symbol Interference</i>	23
Gambar 2.18 <i>Localized SC-FDMA</i> dan <i>Distributed SC-FDMA (Interleaved)</i>	27
Gambar 2.19 Penggunaan <i>Cyclic Prefix</i>	28
Gambar 2.20(a) Struktur Slot <i>Uplink</i> untuk Tipe <i>Normal Cyclic Prefix</i>	30
Gambar 2.20(6) Struktur Slot <i>Uplink</i> untuk Tipe <i>Normal Extended Prefix</i>	30
Gambar 2.21 <i>Resource Grid</i> untuk <i>Uplink</i> LTE	30
Gambar 2.22 Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN).....	33
Gambar 2.23 Fungsi Rapat Probabilitas Gaussian	34
Gambar 2.24 Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	35
Gambar 2.25 Efek Doppler Dalam Sistem Komunikasi Bergerak.....	36

Gambar 2.26	Konfigurasi SISO	30
Gambar 2.27	Konfigurasi SIMO	41
Gambar 2.28	Skema <i>Maximal Ratio Combining</i> (MRC)	43
Gambar 2.29	Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem SIMO SC-FDMA	44
Gambar 3.1	Langkah Metode Penelitian	50
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan Data	52
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan <i>Signal To Noise Ratio</i> (SNR) Sistem	53
Gambar 3.4	Diagram Alir Perhitungan <i>Bit Error Rate</i> Sistem	55
Gambar 3.5	Diagram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem	56
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam	67
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam	68
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam	68
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SISO	69
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x2	69
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x4	70
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam	78
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam	78
Gambar 4.9	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam	79

Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi QPSK.....	79
Gambar 4.11	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi 16-QAM	80
Gambar 4.12	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi 64-QAM	80
Gambar 4.13	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam	83
Gambar 4.14	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam	83
Gambar 4.15	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam	84
Gambar 4.16	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk SISO	84
Gambar 4.17	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x2.....	85
Gambar 4.18	Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x4.....	85

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis LTE.....	6
Tabel 2.2 Perbandingan Beberapa Jenis Modulasi Pada LTE	15
Tabel 2.3 Koordinat Sinyal QPSK.....	17
Tabel 2.4 Keluaran Modulator QPSK.....	18
Tabel 2.5 Parameter <i>Resource Block Uplink</i>	29
Tabel 2.6 Parameter SC-FDMA pada Kanal <i>Uplink</i> LTE	30
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Laju Data.....	60
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan <i>Bandwidth</i> Sistem	61
Tabel 4.3 Parameter <i>Link Budget Uplink</i> LTE.....	63
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Redaman Propagasi NLOS	64
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Daya Terima pada <i>Receiver</i>	65
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan SNR Sistem Antena Jamak	67
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi QPSK	72
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi 16-QAM.....	72
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi 64-QAM.....	73
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam.....	76
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam.....	77
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam.....	77
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem Antena Jamak.....	82

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1 <i>Listing Program Matlab Menghitung SNR Sistem</i>	93
Lampiran 2 <i>Listing Program Matlab Menghitung BER Sistem</i>	98
Lampiran 3 <i>Listing Program Matlab Menghitung Kapasitas Kanal Sistem</i>	111



ABSTRAK

NURLITA YANUARNI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2012, *Analisis Kinerja Single Input Multiple Output Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SIMO SC-FDMA) Pada Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)*, Dosen Pembimbing: **Ir. Endah Budi P., MT.** dan **Ali Mustofa, ST., MT.**

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi yang diperkenalkan oleh 3GPP sebagai pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu *High Speed Packet Access (HSPA)*. Pada sisi *uplink*, LTE menggunakan *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* sebagai teknik akses jamak.

Adanya komponen *fading* dalam suatu sistem komunikasi dapat menyebabkan kinerja sistem menurun. Salah satu cara untuk mengurangi efek *fading* adalah dengan menggunakan antena jamak baik pada sisi penerima maupun pengirim. Teknik antena jamak juga dapat digunakan untuk mendapatkan keragaman pengiriman dan atau penerimaan informasi serta meningkatkan laju data. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan antena jamak pada bagian penerima. Teknologi ini juga disebut juga komunikasi *Single Input Multiple Output (SIMO)*. Penggunaan SIMO SC-FDMA diharapkan dapat meningkatkan kinerja kanal *uplink* LTE. Hal yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah pengaruh penggunaan teknik antena jamak di bagian penerima sistem terhadap kinerja SC-FDMA pada LTE dengan menganalisis parameter kinerja, meliputi SNR, BER, dan kapasitas kanal. Teknik antena jamak yang digunakan dalam skripsi ini adalah *Single Input Multiple Output (SIMO) 1x2* dan *SIMO 1x4* yang akan dibandingkan dengan sistem *Single Input Single Output (SISO)*.

Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan bahwa penggunaan teknik antena jamak pada bagian penerima (SIMO) akan meningkatkan kinerja SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE. Penggunaan SIMO 1x4 menghasilkan kinerja terbaik, meliputi parameter SNR = 79,9492 dB, BER = 0,0030, dan kapasitas kanal = 207,4577 Mbps.

Kata Kunci : BER, *fading*, kapasitas kanal, LTE, SC-FDMA, SIMO, SISO, SNR, teknik antena jamak.

ABSTRACT

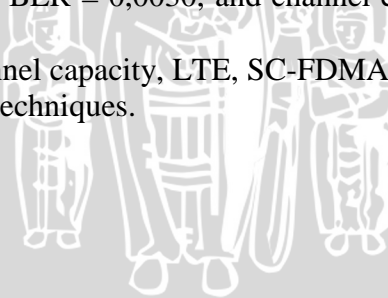
NURLITA YANUARNI, Department of Electrical Engineering, Engineering Faculty, Brawijaya University, August 2012, *Performance Analysis of Single Input Multiple Output Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SIMO SC-FDMA) On The Uplink Channel Long Term Evolution (LTE)*, Advisor : **Ir. Endah Budi P., MT.** dan **Ali Mustofa, ST., MT.**

Long Term Evolution (LTE) is a technology that was introduced by 3GPP as the development of previous technology, the High Speed Packet Access (HSPA). On the uplink, LTE uses Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) as a multiple access technique.

Presence of fading components in a communication systems can decreased performance of that system. One way for reducing the fading effect is to use multiple antennas at both receiver and transmitter side. Multiple antenna techniques can also be used to obtain diversity of delivery and or receipt the information and increase the data rate. This research will discuss about the effect of the use of multiple antennas at the receiver. This technology is also referred as Single Input Multiple Output (SIMO). Use of SIMO SC-FDMA is expected to improve the performance of LTE uplink channel. This research will discuss about the effect of the use of multiple antenna techniques at the receiver system on the performance of SC-FDMA in LTE by analyzing the performance parameters, including SNR, BER, and channel capacity. Multiple antenna techniques used in this research is a Single Input Multiple Output (SIMO) SIMO 1x2 and 1x4 which will be compared with the system of Single Input Single Output (SISO).

From the calculation and analysis found that the use of multiple antennas techniques at the receiver (SIMO) will improve the performance of SC-FDMA in LTE uplink channel. Use of SIMO 1x4 technique produces the best performance, include the parameter SNR = 79,9492 dB, BER = 0,0030, and channel capacity = 207,4577 Mbps.

Key words : BER, fading, channel capacity, LTE, SC-FDMA, SIMO, SISO, SNR, multiple antenna techniques.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi pada saat ini terus meningkat dengan pesat, hal ini juga diikuti dengan keadaan masyarakat yang memiliki mobilitas yang sangat tinggi. Teknologi komunikasi yang sesuai dengan kebutuhan dan permintaan masyarakat saat ini adalah sistem komunikasi nirkabel. Standar teknologi nirkabel dituntut harus terus mengalami evolusi menjadi semakin baik, baik dalam hal penyediaan layanan *mobile broadband*, kecepatan data, dan area akses yang semakin luas.

Saat ini layanan *mobile broadband* mengalami perkembangan yang sangat pesat di dalam industri telekomunikasi seluler. Para pelanggan dapat dengan mudah mengakses data dimana saja dan kapan saja tanpa dibatasi oleh ruang dan waktu, tidak seperti jaringan *fixed* yang masih menggunakan jaringan kabel. Dalam menanggapi kebutuhan pelanggan akan layanan *mobile broadband* yang cepat dan murah, para penyelenggara layanan *mobile broadband* menghadirkan suatu teknologi yang merupakan evolusi dari jaringan seluler yang digunakan saat ini yang disebut dengan *Long Term Evolution* (LTE). LTE merupakan suatu teknologi yang sedang dikembangkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk menyempurnakan infrastruktur telekomunikasi seluler saat ini.

LTE adalah proyek berbasis *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang dikembangkan oleh 3GPP dalam rangka mengakomodasi peningkatan penggunaan *mobile data* dan aplikasi baru multimedia. Perbedaan utama antara LTE dengan teknologi sebelumnya adalah penggunaan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink*.

SC-FDMA merupakan teknologi *multiple access* yang dianjurkan untuk digunakan pada kanal *uplink* LTE sesuai standar LTE Release 8 yang dikembangkan oleh 3GPP. SC-FDMA mempunyai struktur dan kinerja yang mirip dengan OFDM, hanya saja pada teknik ini terdapat penambahan proses *Discrete Fourier Transform* (DFT). Pada SC-FDMA, setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga disebut juga DFT-spread OFDM. Kelebihan SC-FDMA adalah nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih rendah daripada OFDMA sehingga cocok digunakan pada kanal *uplink* LTE.

Dalam sistem komunikasi nirkabel, komponen *fading* merupakan komponen utama yang dapat mengganggu kinerja sistem. Pengaruh *fading* ini menyebabkan pelemahan dan pelebaran spektrum sinyal sehingga kinerja sistem komunikasi menurun. Salah satu cara mengurangi efek *fading* adalah dengan menggunakan antena jamak pada sisi penerima maupun pengirim. Teknik antena jamak juga dapat digunakan untuk mendapatkan tambahan keragaman pengiriman dan atau penerimaan informasi serta meningkatkan laju data. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan antena jamak pada bagian penerima. Teknologi ini juga disebut juga komunikasi *Single Input Multiple Output* (SIMO). Penggunaan SIMO SC-FDMA diharapkan dapat meningkatkan kinerja kanal *uplink* LTE. (Yusup Rudyanto, 2010)

Sampai saat ini belum ada kajian mengenai kinerja SIMO SC-FDMA pada LTE. Di Indonesia, penelitian mengenai LTE yang terakhir adalah analisis kinerja SC-FDMA pada kanal *uplink*. Sedangkan penelitian mengenai antena jamak pada LTE telah dibahas sebatas untuk skema OFDMA pada kanal *downlink* oleh mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, Fidela Restantia, pada tahun 2011 dengan judul skripsi “Performansi MIMO-OFDMA pada LTE”.

Pada skripsi ini akan dibahas mengenai kinerja LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink*. Untuk mengetahui kinerja SIMO 1x2 pada kanal *uplink* LTE dilakukan analisis terhadap beberapa parameter kinerja, yaitu *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER), dan kapasitas kanal, kemudian dibandingkan dengan kinerja *Single Input Multiple Output* (SIMO) 1x4, dan *Single Input Single Output* (SISO). Selain itu, pada skripsi ini juga dianalisis mengenai pengaruh kecepatan pengguna terhadap kinerja LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada kanal *uplink* LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA ?
2. Bagaimana kinerja *Bit Error Rate* (BER) pada kanal *uplink* LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA ?
3. Bagaimana kinerja kapasitas kanal pada kanal *uplink* LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA ?

4. Bagaimana kinerja SIMO 1x2 pada kanal *uplink* LTE untuk parameter SNR, BER, dan kapasitas kanal jika dibandingkan dengan SIMO 1x4, dan SISO ?
5. Bagaimana pengaruh kecepatan pengguna terhadap kinerja LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink*?

1.3 Ruang Lingkup

Pembahasan dalam skripsi ini dilakukan dengan batasan sebagai berikut :

1. Standar LTE yang digunakan adalah LTE *Release 8* yang didefinisikan dalam standar *Third Generation Partnership Project (3GPP)*.
2. Teknik akses jamak menggunakan teknologi *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*.
3. Analisis transmisi data dilakukan dari *User Equipment (UE)* menuju *Evolved Node B (eNB) (uplink)*.
4. Tipe modulasi yang digunakan adalah modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.
5. Parameter sistem SC-FDMA yang akan dibahas berupa kinerja SNR, kapasitas kanal, dan BER.
6. Kecepatan pengguna yang digunakan adalah 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam. Tiap pengguna diasumsikan mengalami pergerakan yang konstan dalam 1 *cell*.
7. Kanal yang digunakan untuk uji kinerja sistem, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* dan *Rayleigh fading*.
8. Model propagasi yang digunakan adalah model ECC 33 untuk daerah *urban outdoor*.
9. Hasil perhitungan akan disimulasikan dengan menggunakan *software* Matlab 7.0.0.19920 (R14)

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk menganalisis kinerja teknologi SIMO SC-FDMA terhadap pengembangan jaringan 3GPP *Long Term Evolution (LTE)* khususnya pada kanal *uplink* dengan menganalisis parameter SNR, BER, serta kapasitas kanal pada kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*. Serta menganalisis mengenai pengaruh kecepatan

pengguna dan penggunaan modulasi adaptif terhadap kinerja LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink*.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Memuat tentang kajian teori dasar yang menunjang penulisan skripsi ini, yaitu mengenai dasar teori LTE, *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), *Rayleigh Fading*, SC-FDMA, teknik modulasi QPSK, teknik modulasi 16-QAM, teknik modulasi 64-QAM, konsep dasar sistem SISO, SIMO, dan parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung kinerja SIMO pada LTE.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas metode-metode yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah yaitu berupa studi literatur untuk mengetahui dasar jaringan LTE, teknologi SC-FDMA, SISO, dan teknologi antena jamak, yaitu SIMO. Kemudian pengambilan data yang berupa data sekunder diperoleh dari berbagai buku teks, jurnal, dan internet, kemudian melakukan perhitungan sistem, kemudian melakukan analisis data melalui perhitungan, serta pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil analisis data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Melakukan analisis mengenai konfigurasi jaringan SIMO pada kanal *uplink* LTE, kemudian melakukan analisis pengaruh penggunaan modulasi adaptif SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink* LTE, serta melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus yang telah didapatkan dari studi literatur untuk SISO dan SIMO terhadap parameter SNR, BER, dan kapasitas kanal pada LTE.

BAB V : PENUTUP

Memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis data serta saran untuk pengembangan dan penyempurnaan skripsi ini.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Long Term Evolution (LTE)

LTE adalah proyek berbasis *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang dikembangkan oleh 3GPP dalam rangka mengakomodasi peningkatan penggunaan *mobile data* dan aplikasi baru multimedia. Radio akses OFDMA pada LTE disebut sebagai *Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN). Keseluruhan arsitektur LTE disebut sebagai 3GPP *Evolved Packet System* (EPS), yang sebelumnya disebut arsitektur *System Architecture Evolution* (SAE).

Perbedaan utama antara LTE dengan teknologi sebelumnya adalah penggunaan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink*, sehingga LTE memiliki kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan tinggi mencapai 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*. LTE dirancang untuk meningkatkan *throughput*, meningkatkan kapasitas kanal, mengurangi *latency*, dan beroperasi baik untuk mobilitas penuh.

2.1.1 Spesifikasi Teknis LTE

Teknologi LTE memiliki nilai spesifikasi teknis yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi teknis untuk teknologi LTE.

Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis LTE

Parameter Spesifikasi Teknis	Jenis/Nilai
Laju data	100 Mbit/s for downlink; 50 Mbit/s for uplink
<i>Throughput</i> rata-rata/MHz dibandingkan HSPA Release 6	3-4 higher for downlink, 2-3 higher for uplink
Mobilitas	0-15 km/jam (optimum); 15-120 km/jam (<i>high performance guaranteed</i>); 120-350 km/jam (<i>connection maintained</i>)
<i>Bandwidth</i>	1.4-20 MHz
Alokasi spektrum	<i>Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported</i>



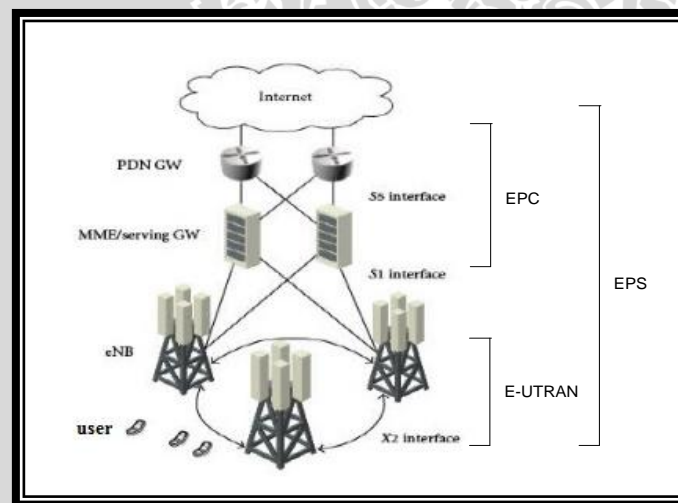
Tabel 2.1 (lanjutan) Spesifikasi Teknis LTE

Parameter Spesifikasi Teknis	Jenis/Nilai
Akses jamak	OFDMA (<i>downlink</i>) SC-FDMA (<i>uplink</i>)
Multi antena	<i>Downlink</i> 2x2, 4x2, 4x4 <i>Uplink</i> 1x2, 1x4
Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Latensi	5ms user-plane latency at IP layer, for one-way 100 ms control-plane latency from idle to active state
Pengguna/cell	At least 200 at 5MHz bandwidth At least 400 at bandwidth > 5MHz

(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

2.1.2 Arsitektur Jaringan LTE

Keseluruhan arsitektur jaringan LTE disebut juga dengan 3GPP EPS. Arsitektur jaringan LTE ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Arsitektur Jaringan LTE

(Sumber : Mustafa Ergen, 2009)

1. User Equipment (UE)

UE adalah perangkat yang digunakan pelanggan untuk melakukan komunikasi. UE terdiri dari *Terminal Equipment* (TE) yang berfungsi sebagai terminal radio yang digunakan untuk komunikasi lewat radio dan *Universal Subscriber Identity Module* (USIM) yang berfungsi sebagai bukti dan identitas pengguna serta untuk memperoleh *security key* untuk melindungi *interface* transmisi radio. (H. Holma dan A. Toskala, 2009)

2. *Evolved - UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)*

Jaringan akses LTE yang disebut E-UTRAN merupakan jaringan akses radio yang menyediakan koneksi antara UE dan *Evolved Packet Core (EPC)*. E-UTRAN hanya terdiri dari *Evolved Node B (eNB)*. eNB adalah unit fisik untuk mengirim/menerima frekuensi pada sel. Perangkat ini sama dengan *Base Transceiver Station (BTS)* dalam jaringan GSM.

UE berhubungan dengan eNB dan eNB berhubungan dengan EPC dan yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.1. Untuk trafik pengguna biasa, tidak ada pengontrol terpusat pada E-UTRAN, maka arsitektur E-UTRAN bisa dikatakan *flat*. (Stefania Sesia *et al*, 2009)

3. *Evolved Packet Core (EPC)*

EPC bertanggung jawab untuk pengontrolan secara menyeluruh dari eNodeB dan pembentukan *bearer*. EPC terdiri dari :

a. *Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)*

PCRF bertanggung jawab untuk mengontrol kebijakan pembuatan keputusan dan kemampuan aliran data berdasarkan *Policy Control Enforcement Function (PCEF)* yang terletak pada *Packet Data Network Gateway (PDN-GW)*. PCRF menyediakan otorisasi *Quality Of Service (QoS)* yang menentukan bagaimana aliran data tertentu akan diperlakukan dalam PCEF dan memastikan bahwa hal ini sesuai dengan profil pengguna berlangganan.

b. *Home Subscription Server (HSS)*

HSS berfungsi untuk menyimpan data dan informasi mengenai pelanggan agar tersimpan secara permanen. HSS juga berisi rekaman lengkap lokasi terkini dari *user*.

c. *Packet Data Network Gateway (PDN-GW)*

PDN-GW merupakan jangkar untuk mobilitas antara 3GPP dengan teknologi *non-3GPP* seperti WiMAX, 3GPP2 dan *Wireless Local Area Network (WLAN)* melalui beberapa *interface*. PDN-GW menyediakan konektivitas dengan jaringan paket data eksternal. Selain itu PDN-WG bertanggung jawab untuk mengalokasikan alamat IP UE, pengisian aliran data berdasarkan aturan dari PCRF dan menyaring *downlink* paket IP *user* kedalam *bearer* QoS yang berbeda.

d. *Serving Gateway (S-GW)*

Semua pengguna paket IP dikirimkan melalui S-GW, yang berfungsi sebagai jangkar untuk mobilitas data *bearer* bila UE bergerak di antara eNodeB. S-GW juga bertanggung jawab dalam menetapkan *routing* dan meneruskan paket data *user* dengan *interface* S-1, menangani kompresi *header* IP serta enkripsi data *user*.

e. *Mobility Management Entity (MME)*

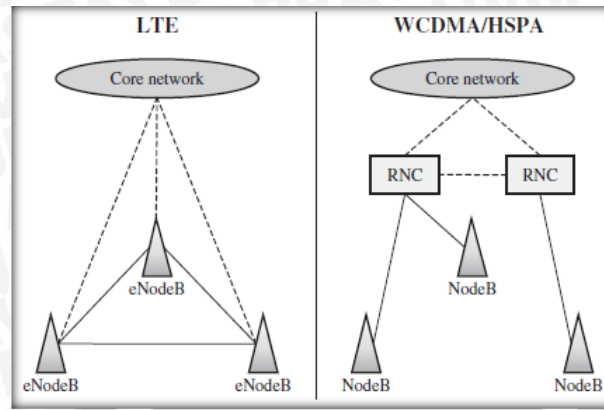
MME adalah *node* kontrol yang memproses sinyal antara UE dan *Core Network (CN)/EPC*. Selain itu MME juga berfungsi sebagai autentifikasi dan keamanan serta *mobility management*. Protokol yang berjalan antara UE dan CN dikenal sebagai protokol *Non-Access Stratum (NAS)*. (Stefania Sesia *et al*, 2009)

4. *Interface jaringan*

- a. *Interface* LTE-Uu, yaitu *interface* yang menghubungkan eNodeB dan UE.
- b. *Interface* X2, yaitu *interface* yang menghubungkan antar eNodeB.
- c. *Interface* S1, yaitu *interface* yang menghubungkan EPC dan eNodeB.
- d. *Interface* S1-MME, yaitu *interface* yang menghubungkan MME dan eNodeB.
- e. *Interface* S1-U, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan eNodeB.
- f. *Interface* SGi, yaitu *interface* yang menghubungkan PDN-GW dan jaringan paket data.
- g. *Interface* S5/S8, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan PDN-GW.
- h. *Interface* S11, *interface* yang menghubungkan MME dan S-GW. (Mustafa Ergen, 2009)

2.1.3 *Arsitektur Radio Access Network (RAN)*

Perbandingan *arsitektur Radio Access Network (RAN)* dari LTE dan WCDMA/HSPA ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perbedaan yang signifikan antara WCDMA/HSPA dan LTE adalah dalam LTE tidak mendukung *macro diversity*, yang merupakan permasalahan untuk WCDMA/HSPA. Pada LTE, *Radio Network Controller (RNC)* dihilangkan sehingga dapat mengurangi *latency* di RAN. Hal ini menyebabkan LTE memindahkan kompleksitas ke eNB. (Farooq Khan, 2009)



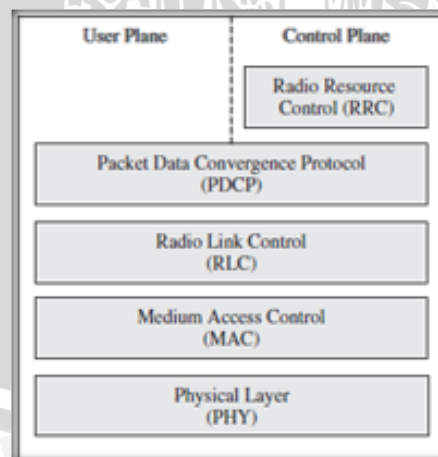
Gambar 2.2. Perbandingan RAN arsitektur antara LTE dan WCDMA/HSPA

(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Selain pengolahan lapisan fisik, eNB pada LTE juga mempunyai tugas manajemen mobilitas dan manajemen sumber daya radio, yang keduanya termasuk dalam tugas RNC pada WCDMA/HSPA. eNB dalam RAN LTE masing-masing dihubungkan secara langsung satu sama lain dan keputusan *handover* diambil oleh eNB. Dalam WCDMA/HSPA, tugas ini dilakukan oleh RNC. (K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

2.1.4 Arsitektur Radio Protokol

Arsitektur radio protokol pada LTE dibagi menjadi *user plane* dan *control plane*. *User plane* membawa semua informasi pengguna dari suara ke data sementara *control plane* digunakan untuk sinyal kontrol. Gambar 2.3 menunjukkan LTE *protocol stack*.



Gambar 2.3. User dan Control Plane Protocol Stack

(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Semua protokol terletak di eNB dan terminal *mobile station* (UE). Fungsi dari masing-masing lapisan protokol tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Radio Resource Control* (RRC)

RRC adalah bagian dari *control plane* yang bertanggung jawab untuk protokol PDCP, RLC, MAC, dan PHY layer 1 dan layer 2. Fungsi utama dari RRC adalah *admission control*, manajemen *handover* dan QoS, mengatur, dan melaporkan pengukuran stasiun terminal.

2. *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP)

Fungsi utama dari PDCP pada *user plane* adalah mengompres *header IP*, pengiriman data dari *user* dan *ciphering*. Pada *control plane*, PDCP bertanggung jawab dalam fungsi pengendalian pengiriman data dan *ciphering*.

3. *Radio Link Control* (RLC)

Segmentasi dan *reassembly* paket data dari *layer* yang lebih tinggi serta perbaikan kesalahan melalui ARQ adalah fungsi utama dari RLC. Selain itu, *flow control* antara eNodeB dan *mobile terminal* juga ditangani oleh RLC.

4. *Medium Access Control* (MAC)

MAC bertanggung jawab untuk penjadwalan *uplink* dan *downlink*, perbaikan kesalahan melalui *hybrid ARQ* (HARQ), modulasi adaptif, pemetaan antena dan juga berfungsi untuk *mapping* antara kanal logika dan kanal transport. (K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

5. *Physical Layer* (PHY)

Layer fisik LTE membawa data dan mengendalikan informasi antara eNB dan UE dengan cara yang efisien. Layer fisik LTE menggunakan teknologi yang lebih maju seperti OFDMA, SC-FDMA, dan antena jamak untuk transmisi data.

2.1.5 Teknik Akses

Pada LTE teknik akses yang digunakan pada transmisi dalam arah *downlink* dan *uplink* berbeda. Arah *downlink* adalah arah komunikasi dari eNodeB ke UE, sementara arah *uplink* adalah arah dari UE menuju eNodeB. Pada arah *downlink* teknik akses yang digunakan adalah *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) dan pada arah *uplink* teknik akses yang digunakan adalah *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). OFDMA adalah variasi dari *Orthogonal Frequency Division Modulation* (OFDM).

Pada teknik OFDM setiap *subcarrier* adalah *orthogonal* sehingga akan menghemat spektrum frekuensi dan setiap *subcarrier* tidak akan saling mempengaruhi. Akan tetapi salah satu kelemahan teknik akses ini adalah tingginya *Peak Average Power Ratio* (PAPR) yang dibutuhkan. Tingginya PAPR dalam OFDM membuat 3GPP melihat skema teknik akses yang berbeda pada arah *uplink* karena akan sangat mempengaruhi konsumsi daya pada UE sehingga pada arah *uplink* LTE menggunakan teknik SC-FDMA. SC-FDMA dipilih karena teknik ini mengkombinasikan keunggulan PAPR yang rendah dengan daya tahan terhadap gangguan lintasan jamak dan alokasi frekuensi yang fleksibel dari OFDMA.

2.1.6 Teknik Dupleks

Pada komunikasi seluler sangat penting untuk mempertimbangkan kemampuan jaringan untuk melakukan komunikasi dalam dua arah secara simultan atau dikenal dengan istilah komunikasi *full duplex*. Oleh karena itu untuk dapat melakukan komunikasi dua arah secara simultan, maka dibutuhkan suatu teknik *duplex*. Pada LTE terdapat dua teknik *duplex* yang dapat digunakan, yaitu *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD). FDD merupakan teknik *duplex* yang menggunakan dua frekuensi yang berbeda untuk melakukan komunikasi dalam dua arah. Dengan menggunakan FDD dimungkinkan untuk mengirim dan menerima sinyal secara simultan dengan frekuensi yang berbeda-beda. Dengan teknik ini dibutuhkan *guard frequency* untuk memisahkan frekuensi pengiriman dan penerimaan secara simultan, serta dibutuhkan proses *filtering* frekuensi yang harus akurat. Sedangkan TDD menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data. Setiap kanal tersebut di-*multiplexing* dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki *time slot* yang berbeda. Teknik FDD lebih banyak menggunakan spektrum frekuensi yang tersedia. FDD lebih unggul dalam menangani *latency* dibandingkan TDD karena kanal harus lebih lama menunggu waktu pemrosesan dalam *multiplexing*.

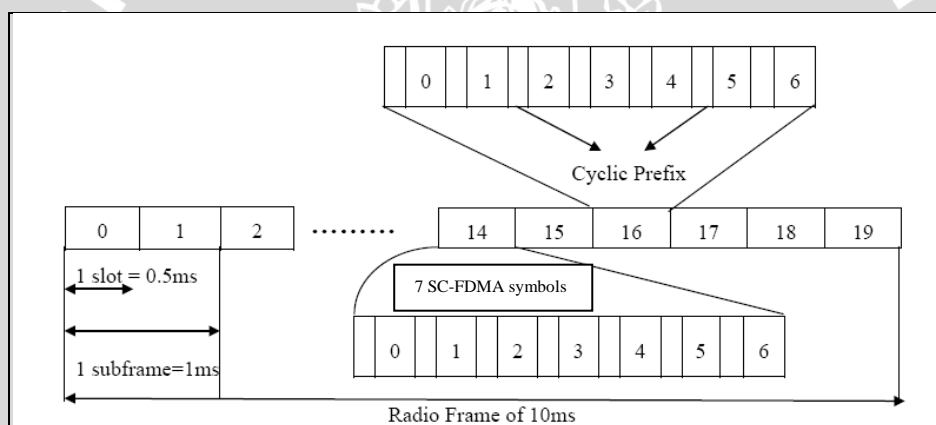
Interface radio LTE mendukung *frequency division duplex* dan *time division duplex* (TDD), yang masing-masing memiliki struktur *frame* yang berbeda-beda. Pada LTE terdapat 17 *band* operasi FDD dan 8 *band* operasi TDD pada LTE. Saat ini, beberapa *band* telah digunakan oleh teknologi lain dan LTE dapat beroperasi secara bersama-sama dengan teknologi tersebut. LTE juga dapat menggunakan fasilitas *half-duplex* FDD yang mengizinkan *sharing hardware* di antara *uplink* dan *downlink* dimana

koneksi *uplink* dan *downlink* tidak digunakan secara simultan. LTE dapat menggunakan kembali semua *band* frekuensi yang digunakan pada UMTS. (H. Holma dan A. Toskala, 2009)

2.1.7 Struktur Frame LTE

Secara umum, struktur *frame* di LTE memiliki panjang 10 ms yang dibagi menjadi 10 *sub frame* dengan panjang masing-masing 1 ms. Tiap *sub frame* dibagi menjadi dua slot dengan masing - masing slot memiliki periode 0,5 ms. Tiap slot memiliki 6 atau 7 simbol SC-FDMA tergantung jenis *cyclic prefix* yang digunakan. Tiap slot menggunakan 7 simbol SC-FDMA untuk *normal cyclic prefix* dan 6 simbol SC-FDMA untuk *extended cyclic prefix*. Tiap *sub frame* dapat digunakan pada kanal *uplink* maupun *downlink*. (Hyung G. Myung, 2009)

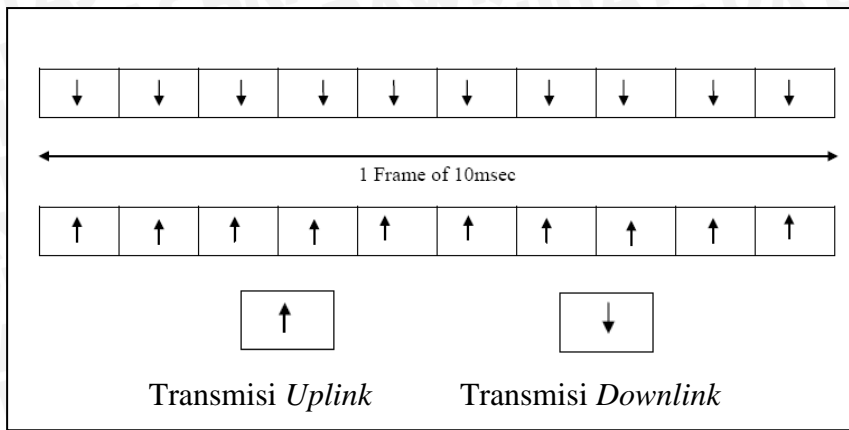
Struktur *frame* pada kanal *uplink* dan *downlink* LTE ditunjukkan pada Gambar 2.4.



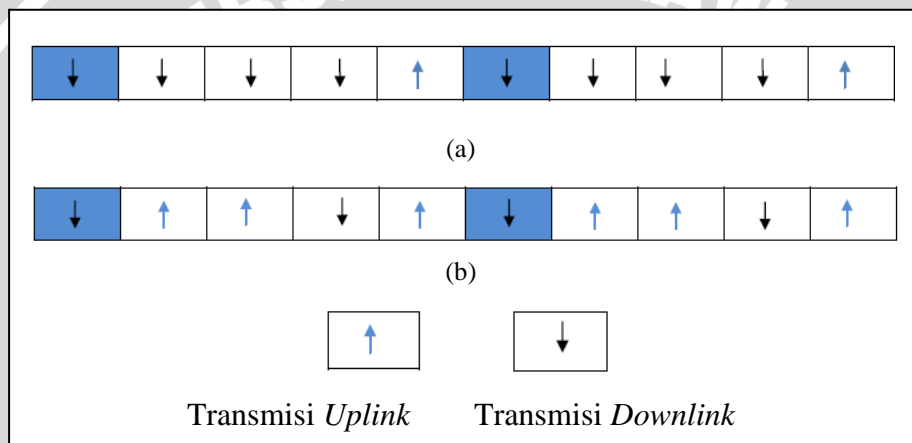
Gambar 2.4. Struktur Frame Pada Kanal *Uplink* dan *Downlink* LTE

(Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

Pada teknik dupleks FDD, semua *sub frame* digunakan untuk transmisi data *downlink* atau *uplink*. Sedangkan pada TDD, *sub frame* 1 dan 6 untuk transmisi *downlink*, sementara *sub frame* lainnya digunakan untuk *uplink* atau *downlink*. *Sub frame* 1 dan 6 terdiri dari sinyal sinkronisasi untuk *downlink*. Gambar 2.5 menunjukkan penggunaan *sub frame* pada transmisi *uplink* dan *downlink* dengan teknik dupleks FDD.



Gambar 2.5. Penggunaan subframe Downlink dan Uplink untuk FDD
 (Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)



Gambar 2.6. (a) Subframe Downlink untuk TDD (b) Subframe Uplink untuk TDD
 (Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

2.2 Modulasi

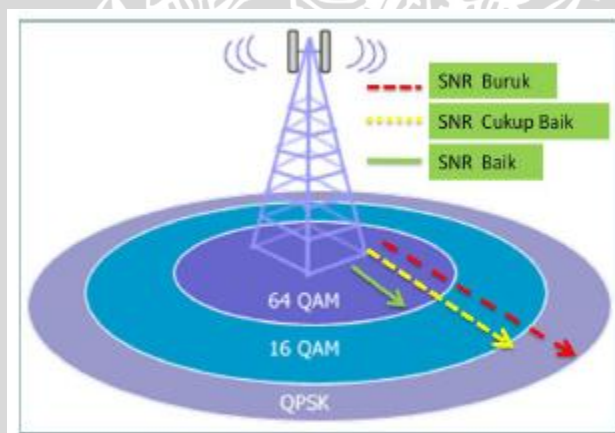
Modulasi adalah proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan cara yang sesuai dengan proses transmisi. Pada modulasi digunakan sinyal *carrier* yang memiliki nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai frekuensi sinyal pesan. Pada umumnya modulasi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah amplitudo, fasa, atau frekuensi dari sinyal *carrier* sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. Akan tetapi pada perkembangannya teknik modulasi sudah dapat mengkombinasikan perubahan amplitudo, fasa, dan frekuensi dalam suatu teknik modulasi.

Modulasi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Perbedaan modulasi analog dan digital terletak pada sinyal informasi yang dikirimkan. Pada modulasi digital, sinyal informasinya berupa sinyal digital sedangkan pada modulasi analog, sinyal informasinya berupa sinyal analog. Pada LTE

diterapkan teknik modulasi adaptif yang mampu menyesuaikan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* saat itu.

2.2.1 Teknik Modulasi Adaptif

Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat itu. Saat kondisi *link* radio baik, maka akan meningkatkan nilai SNR sehingga dapat digunakan teknik modulasi yang menghasilkan *bit rate* tertinggi dengan BER yang rendah. Saat *link* radio buruk akan menurunkan nilai SNR sehingga memaksa penggunaan teknik modulasi dengan *bit rate* yang lebih rendah untuk mempertahankan realibilitas *link*. Ketika kondisi *link* baik maka modulasi 64-QAM akan dipilih untuk digunakan daripada modulasi QPSK karena memiliki *bit rate* lebih cepat. Kondisi ini diperlihatkan pada Gambar 2.7. Pada Gambar 2.7 dapat diketahui bahwa semakin dekat daerah layanan dengan antenna pengirim, maka digunakan modulasi dengan level lebih tinggi sehingga digunakan *bit rate* yang lebih tinggi. Modulasi adaptif memungkinkan adanya efisiensi spektrum dan kekebalan transmisi pada kondisi kanal yang bervariasi terhadap waktu.



Gambar 2.7. Penggunaan Modulasi Adaptif Pada Kondisi *Link* Radio yang Berbeda
(Sumber : Sami H. O. Salih dan Mamoun M. A. Suliman, 2011)

Pada teknik modulasi adaptif, *receiver* akan mengirimkan *Channel Quality Indicator* (CQI) berisi level SNR kepada *transmitter* dan nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai *threshold* SNR dan standar BER yang ditetapkan sebelumnya sehingga pengirim akan memutuskan untuk mengubah jenis modulasi pada transmisi berikutnya sesuai dengan informasi yang diterimanya dari penerima. Perbedaan *bit rate* dan jumlah *bit* per simbol modulasi pada LTE ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Perbandingan Beberapa Jenis Modulasi Pada LTE

Jenis Modulasi	Jumlah <i>bit/symbol</i>	<i>Bit rate</i>
QPSK	2	R
16-QAM	4	2R
64-QAM	6	3R

(Sumber : Mustafa Ergen, 2009)

2.2.2 Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

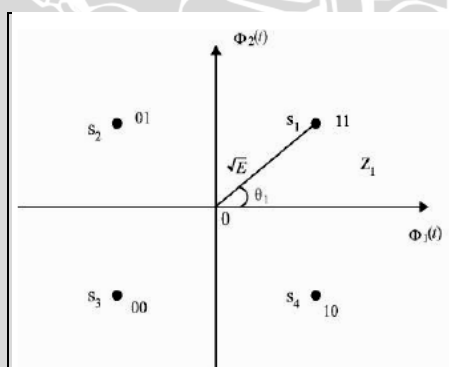
QPSK adalah teknik modulasi yang paling sering digunakan diantara teknik modulasi *M-ary* PSK lainnya karena tidak mengalami penurunan *bit error rate* (BER) ketika efisiensi *bandwidth* ditingkatkan. Sinyal QPSK dapat dituliskan pada Persamaan (2.1):

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.1)$$

dengan,

$$\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{4} \quad (2.2)$$

Fasa sinyal awal adalah $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$. Frekuensi pembawa dipilih sebagai kelipatan dari *symbol rate* (laju simbol). Oleh karena itu, pada setiap interval simbol ($kT, (k+1)T$), fasa sinyal awal juga merupakan salah satu dari empat fasa sinyal QPSK.

**Gambar 2.8.** Konstelasi Sinyal QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

Pada QPSK, *bit* data dibagi menjadi kelompok dari dua *bit*, disebut *dibit*. Ada empat kemungkinan *dibit*, yaitu 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing dari empat sinyal QPSK melambangkan salah satu *dibit*. Konstelasi sinyal QPSK pada Gambar 2.8 menggunakan *Gray coding*. Koordinat dari titik-titik sinyal ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Koordinat Sinyal QPSK

Dibit	Fasa θ_i	$s_{i1} = \sqrt{E} \cos \theta_i$	$s_{i2} = \sqrt{E} \sin \theta_i$
11	$\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
01	$3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
00	$-3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
10	$-\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$

(Sumber : Johan, 2008)

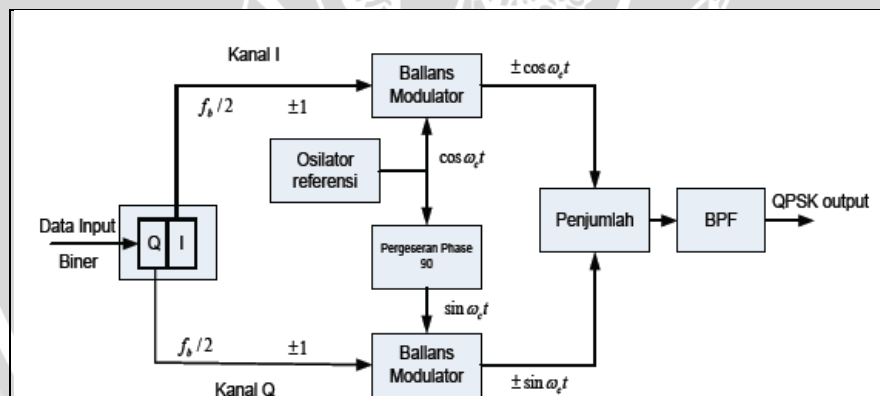
Sinyal QPSK untuk setiap saat pada sumbu t dapat ditulis sebagai :

$$s(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{A}{\sqrt{2}} Q(t) \sin 2\pi f_c t, \quad -\infty < t < \infty \quad (2.3)$$

dimana I(t) dan Q(t) adalah deretan pulsa yang ditentukan oleh *bit* urutan ganjil dan *bit* urutan genap secara berturut-turut.

$$\begin{aligned} I(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} I_k p(t - kT) \\ Q(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k p(t - kT) \end{aligned} \quad (2.4)$$

dimana $I_k = \pm 1$ dan $Q_k = \pm 1$. Pemetaan diantara *logic* data dan I_k atau Q_k adalah $1 \rightarrow 1$ dan $0 \rightarrow -1$. $p(t)$ adalah fungsi pembentukan sinyal rektangular yang didefinisikan pada $(0, T)$.



Gambar 2.9. Diagram Blok Modulator QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

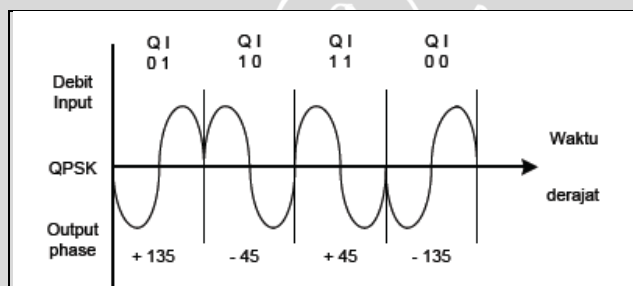
Modulator QPSK terdiri dari pengubah seri ke paralel, modulator I/Q, penjumlahan sinyal, dan *Band Pass Filter* (BPF). Dua *bit* diumpangkan ke *serial to paralel*, setelah keduanya masuk secara serial, maka akan diumpangkan serempak secara paralel. *Bit* yang satu menuju kanal I dan yang lainnya menuju kanal Q. Pada QPSK, logika 1 diwakili +1 Volt sedangkan logika 0 diwakili -1 Volt. Keluaran modulator QPSK berupa penjumlahan linier dari kanal I dan Q seperti yang terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Keluaran Modulator QPSK

Input (dibit)	Keluaran modulator QPSK
00	$-1 \cos \omega_c t - 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t - 135^\circ)$
01	$-1 \cos \omega_c t + 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t - 45^\circ)$
10	$+1 \cos \omega_c t - 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t + 135^\circ)$
11	$+1 \cos \omega_c t + 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t + 45^\circ)$

(Sumber : Johan, 2008)

Terlihat bahwa jarak angular antara dua fasor yang berdekatan pada QPSK adalah 90° . Karena itu, suatu sinyal QPSK dapat mengalami pergeseran fasa $+45^\circ$ atau -45° selama transmisi dan tetap akan berupa informasi yang benar saat didemodulasikan pada penerima.



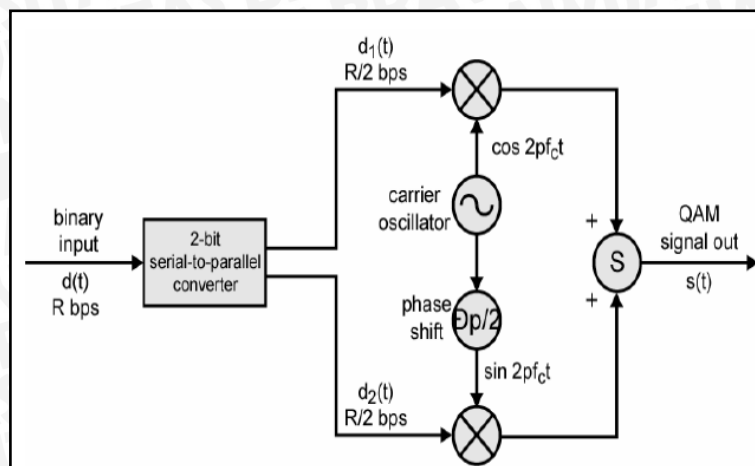
Gambar 2.10. Sinyal Keluaran Modulator QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

Demodulator QPSK terdiri dari detektor, *Low Pass Filter* (LPF), dan pengubah paralel ke seri. Sinyal masukan demodulator berupa sinyal OFDM yang telah terdistorsi dengan kanal transmisi yang disebabkan *AWGN* dan *Rayleigh Fading* dimasukkan ke kanal I dan Q. Sinyal pada kanal I dikalikan dengan $\cos \omega_c t$, sedangkan pada kanal Q dikalikan dengan $\sin \omega_c t$. Kemudian kedua keluaran kanal tersebut dilewatkan pada LPF untuk memperoleh sinyal hasil keluarannya, yaitu data digit 0 dan 1.

2.2.3 Modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

Pada modulasi M-QAM, amplitudo dari sinyal yang ditransmisikan dijaga tetap konstan. Dengan membuat amplitudo dan fasa berubah-ubah, suatu teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) diperoleh. Blok diagram modulator QAM ditunjukkan pada Gambar 2.11.

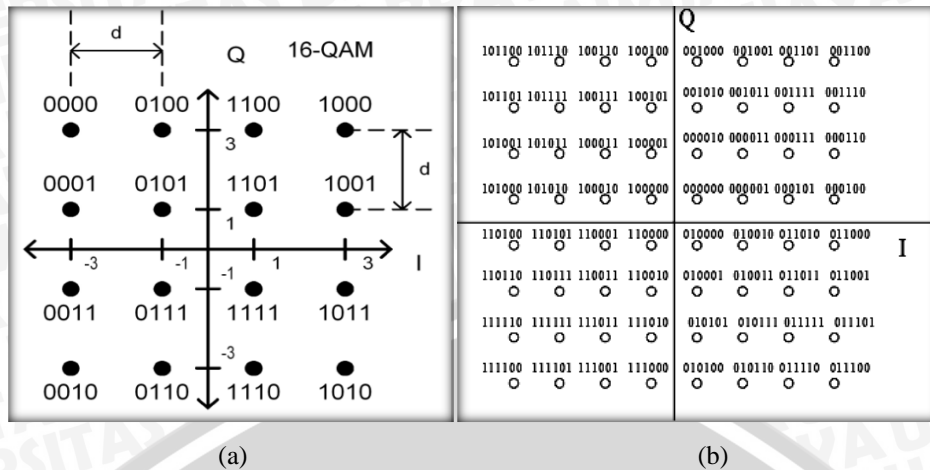


Gambar 2.11. Blok Modulator QAM

(Sumber : William Stallings, 2007)

QAM merupakan teknik yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum *bit* pada tiap simbolnya adalah 2 *bit*. Sehingga dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah *bit* dalam satu simbol. Sesuai standar yang telah ditetapkan oleh 3GPP LTE, teknik QAM yang digunakan pada teknologi LTE adalah 16-QAM dan 64-QAM. Semakin banyak jumlah titik konstelasi yang digunakan, semakin besar kemampuan untuk mentransmisikan *bit-bit* data untuk tiap simbol. (K. Fazel and S. Kaiser, 2008)

Untuk 16-QAM terdapat 4 *bit* setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 *bit* pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *hexabit*. Teknik 64-QAM merupakan teknik yang paling cepat mentransmisikan data pada teknologi LTE, karena jumlah *bit* per simbolnya adalah yang tertinggi dibandingkan dengan teknik modulasi digital yang lain, yaitu 6 *bit*. Gambar 2.12 menjelaskan hubungan antara amplitudo dan fasa dengan *bit* pada 16-QAM dan 64-QAM. (Behrouz A. Forouzan, 2000)



Gambar 2.12. (a) Konstelasi 16-QAM (b) 64-QAM

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

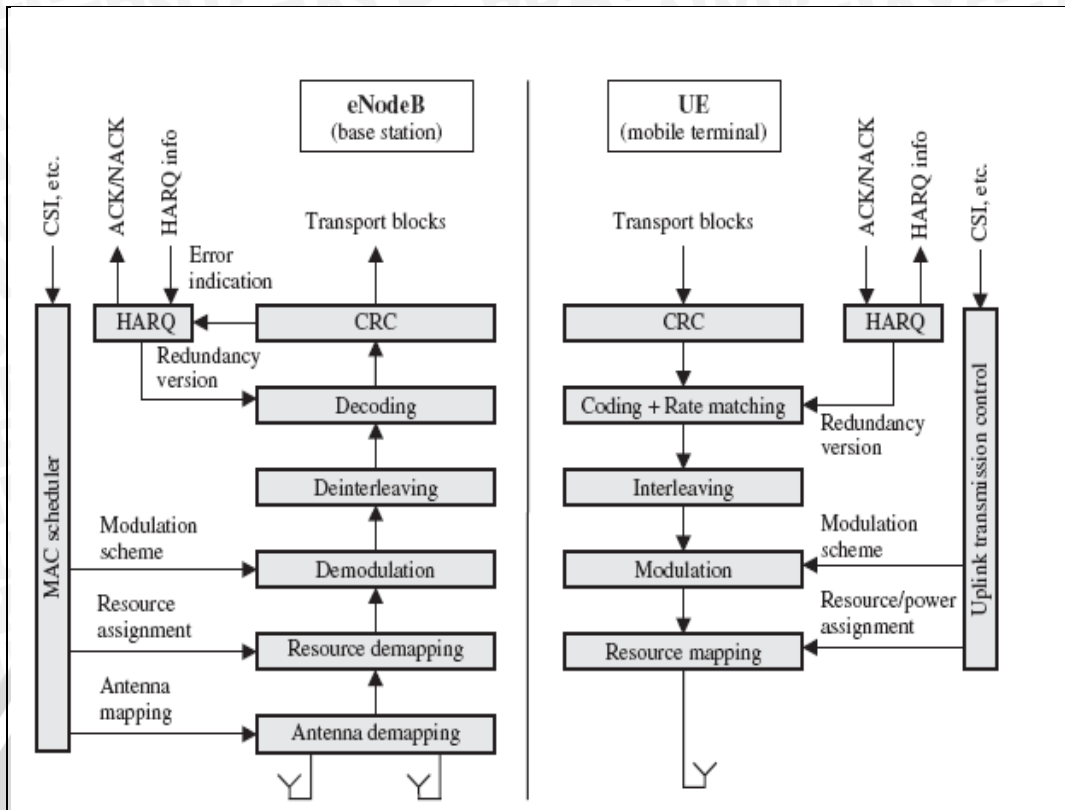
Pada blok demodulator simbol-simbol diubah menjadi *bit-bit* informasi data kembali sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan yaitu QPSK atau QAM.

2.3 Skema Transmisi Kanal Uplink LTE

Skema transmisi kanal *uplink* LTE menggunakan teknik *multiple access* SC-FDMA. Dengan metode SC-FDMA ini masalah tingginya PAPR yang dialami oleh OFDMA dapat diatasi. Dengan adanya proses DFT pada *transmitter* SC-FDMA maka simbol data yang akan dikirim disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga dapat kita pandang sebagai *single carrier*. Rasio perbandingan jumlah *subcarrier* OFDMA dan SC-FDMA umumnya adalah 4:1. PAPR berbanding lurus dengan banyaknya *subcarrier*. Itulah sebabnya dengan SC-FDMA ini nilai PAPR dapat direduksi.

Pada transmisi *uplink* sangat disyaratkan PAPR yang rendah karena jika pada transmisi *uplink* sinyal yang ditransmisikan PAPR-nya tinggi akan mengakibatkan borosnya baterai pada pengguna (UE). Hal itu perlu dihindari supaya tidak merugikan pengguna. Konsumsi daya besar pada *transmitter* untuk *downlink*, yaitu jaringan LTE sendiri tidak terlalu dipermasalahkan, sebab jaringan mendapat catu daya dari PLN dan sifatnya tetap atau tidak *mobile*. Sedangkan pengguna umumnya *mobile* atau bergerak sehingga konsumsi daya yang besar akan merugikan. (Yusup Rudyanto, 2010)

Diagram blok dari kanal *uplink* LTE ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Diagram Blok Kanal Uplink LTE
(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

1. Modulasi dan Pengkodean

a. *Cyclic Redudancy Check (CRC)*

CRC dimasukkan ke dalam setiap blok transport untuk mendeteksi adanya kesalahan transmisi pada bagian penerima, yaitu eNB. Jumlah *bit* yang dapat digunakan yaitu 16 *bit* dan 24 *bit*.

b. *Channel Coding, Rate Matching, dan HARQ*

Turbo coding dengan kecepatan 1/3 digunakan untuk *channel coding*. *Rate matching* digunakan oleh *puncturing* untuk meningkatkan efektifitas *code rate* yang lebih dari 1/3 atau dengan mengulang kode *bit* untuk mengurangi efektifitas *code rate* dibawah 1/3. Pemilihan kecepatan tergantung pada *resource* yang tersedia. Pada skema ARQ , penerima menggunakan kode pendeteksian *error* untuk mengecek jika paket yang diterima memiliki *error* atau tidak. Pemancar diinformasikan dengan NACK atau ACK secara berurutan. Pada kasus NACK, paket dikirim ulang. Kombinasi *forward error correction (FEC)* dan ARQ dikenal dengan *hybrid ARQ (HARQ)*. Kebanyakan skema HARQ dibangun di sekitar kode CRC untuk pendeteksian *error* dan

turbo code untuk pengkoreksian *error*. Pada hybrid ARQ dengan *soft combining*, paket yang diterima salah disimpan pada *buffer* dan kemudian dikombinasikan dengan pengiriman ulang untuk mendapatkan *single packet* yang lebih memiliki kehandalan daripada unsur pokoknya. Pada LTE, *full incremental redundancy* diterapkan, yang dimaksudkan untuk pengiriman ulang paket-paket yang khusus tidak sama dengan transmisi yang pertama tetapi membawa informasi yang melengkapinya.

c. *Interleaving*

Interleaver digunakan untuk meningkatkan efisiensi *Forward Error Correction* (FEC) dengan cara penyebaran *burst error*, sehingga *burst error* terdapat pada tiap simbol yang mengalami *error*. Hasil dari proses ini adalah tiap *error* yang ada mudah untuk dikoreksi.

d. Modulasi

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier* dimana terjadi perubahan parameter sinyal *carrier* (amplitudo, frekuensi dan fasa) berdasarkan amplitudo sinyal informasi. Modulasi yang digunakan pada LTE untuk arah *uplink* yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. *MAC scheduler* menentukan skema modulasi yang sebenarnya.

2. *Resource Mapping*

Resource mapping membebaskan simbol data pada *resource block* dengan memanfaatkan informasi kanal pada pemancar dengan menggunakan pemacu *MAC scheduler*.

3. *MAC Scheduler*

MAC scheduler bertanggung jawab atas penjadwalan dan mencocokkan *rate* dengan cara mengendalikan HARQ dan memilih skema modulasi, *resource*, dan *power*.

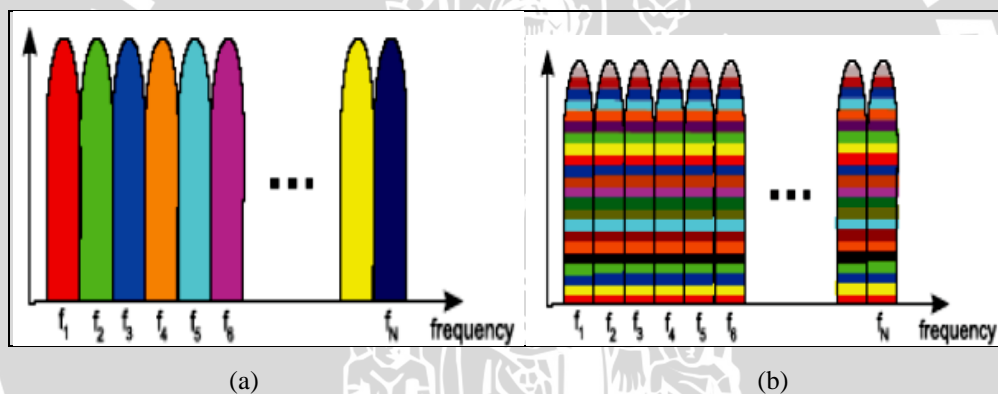
4. Transmisi Antena Jamak

Transmisi multi antena yang digunakan pada kanal *uplink* 1 antena pemancar pada UE (*mobile terminals*) dan 1, 2, atau 4 antena penerima pada *base station* (eNB). Konfigurasi ini akan meningkatkan kehandalan dalam penerimaan informasi. (Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

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

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) adalah suatu teknik *multiple access* baru yang akan digunakan untuk *uplink* pada LTE. Transmisi *single carrier* memiliki pengertian bahwa sinyal informasi hanya dimodulasi dengan 1 sinyal *carrier*.

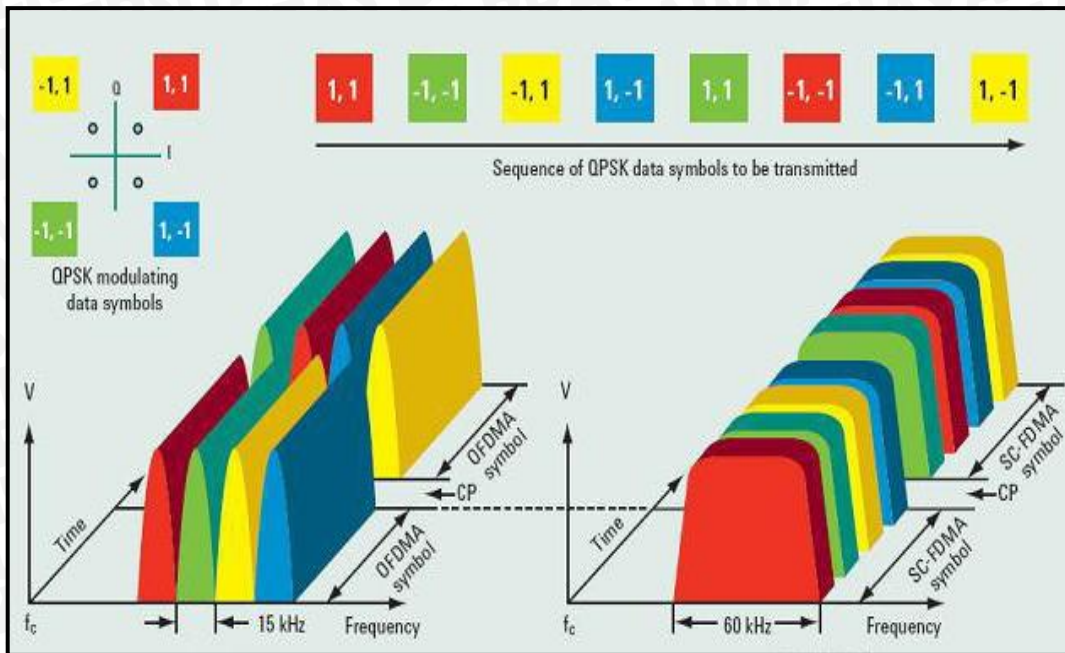
SC-FDMA mempunyai struktur dan kinerja yang mirip dengan OFDM, hanya saja pada teknik ini terdapat penambahan proses *Discrete Fourier Transform* (DFT) pada *transmitter* dan *Invers Discrete Fourier Transform* (IDFT) pada *receiver*. Pada OFDM, setiap data simbol dibawa oleh 1 *subcarrier*, sedangkan pada SC-FDMA beberapa *subcarrier* membawa tiap data simbol sehingga setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*. Karena hal inilah SC-FDMA disebut juga DFT-spread OFDM. Penambahan blok DFT dan IDFT ini berguna mengurangi nilai PAPR pada sistem SC-FDMA. (Fahimeh Rezaei, 2010)



Gambar 2.14. (a) *Subcarrier* OFDM dan (b) *subcarrier* SC-FDMA

(Sumber : Christina Gessner dan Andreas Roessler, 2009)

Dari Gambar 2.14 dapat dilihat bahwa pada SC-FDMA setiap data simbol disebar ke banyak *subcarrier* dan ditransmisikan secara berurutan.

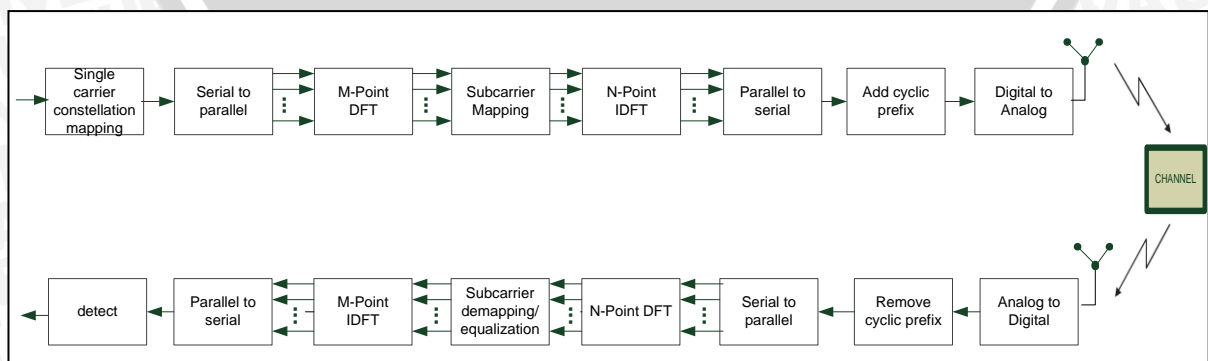


Gambar 2.15. Ilustrasi Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA
(Sumber : Christina Gessner dan Andreas Roessler, 2009)

Dari Gambar 2.15. dapat dilihat, dengan modulasi QPSK maka setiap data simbol diwakili 2 bit (00, 01, 10, 11). Pada OFDMA terlihat bahwa aliran data dibagi ke dalam empat buah *subcarrier* dengan menempati *bandwidth* selebar 15 KHz untuk satu periode simbol, kemudian ditransmisikan secara paralel dalam satu waktu. Sedangkan pada SC-FDMA data dikirimkan dalam empat buah *subcarrier* juga, hanya saja ditransmisikan secara sekuensial, dengan menempati *bandwidth* 60 KHz untuk N periode simbol SC-FDMA, dengan $N = 4$.

2.4.1 Blok Diagram SC-FDMA

Blok diagram dasar dari suatu pemancar dan penerima SC-FDMA ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem SC-FDMA
(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)

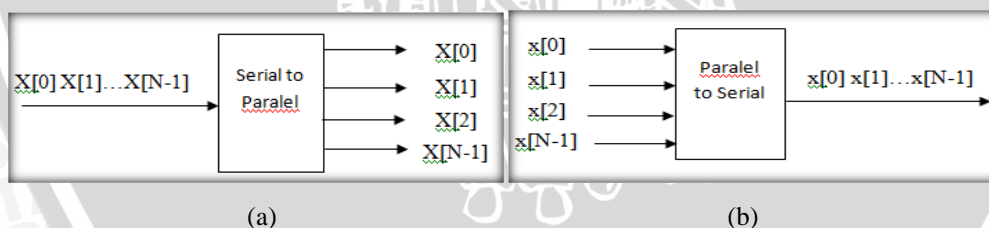
1. Single Carrier Constellation Mapping

Pada blok ini dilakukan perubahan aliran input *bit* menjadi simbol *single carrier* sesuai teknik modulasi yang digunakan. Pada LTE, digunakan teknik modulasi adaptif sesuai dengan kondisi kanal. Untuk arah *uplink* terdapat tiga modulasi yang berbeda, yaitu *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM), dan *64-Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM).

QPSK menggunakan 4 titik diagram konstelasi, dengan mengirim 2 *bit* tiap simbol (00,01,10,11). Teknik modulasi 16-QAM menggunakan 16 titik diagram konstelasi, dengan mengirim 4 *bit* tiap simbol (0000, 0001, 0010, dan seterusnya). Sedangkan teknik modulasi 64-QAM menggunakan 64 titik diagram konstelasi, dengan mengirim 6 *bit* tiap simbol (000000, 000001, 000010, dan seterusnya).

2. 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*. Gambar 2.17 menunjukkan konversi serial ke paralel dan paralel ke serial.



Gambar 2.17. (a) Konversi Serial ke Paralel, (b) Konversi Paralel ke Serial

(Sumber : Johan, 2008)

Pada penerima terjadi proses yang berkebalikan, dimana data dari *subcarrier* (data paralel) diubah kembali ke dalam aliran data serial aslinya. Proses yang terjadi pada penerima ini disebut juga dengan proses konversi paralel ke serial.

3. Discrete Fourier Transform (DFT) dan Invers Discrete Fourier Transform (IDFT)

Implementasi sistem SC-FDMA didasarkan pada teknologi digital dengan penggunaan *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Invers Discrete Fourier Transform* (IDFT). DFT digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Pada blok DFT, sinyal *multicarrier* termodulasi diubah menjadi sinyal *subcarrier*. Sebelum sinyal ditransformasikan, blok data terdiri dari *N-complex modulation symbol* yang dihasilkan oleh modulator. *M-point Discrete Fourier Transform* (DFT) menghasilkan *M-symbol* pada domain frekuensi.

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

DFT dihitung menggunakan Persamaan (2.5):

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

Sehingga :

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

Invers Discrete Fourier Transform (IDFT) melakukan proses berkebalikan dengan DFT, yaitu mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke dalam domain waktu. Pada sistem SC-FDMA, *N-point* IDFT diperoleh dari jumlah *subcarrier* yang dihasilkan oleh *subcarrier mapping*.

$$Y_k \text{ (domain frekuensi)} \xrightarrow{\text{N-point DFT}} y_m \text{ (domain waktu)}$$

Dimana persyaratan untuk sistem ini adalah :

$$M < N$$

IDFT dihitung dari Persamaan (2.7):

$$\begin{aligned} y_m &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k e^{j2\pi \left(\frac{k}{M}\right)m} \\ &= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_k W_M^{-km} \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\text{dimana } W_M = e^{-j\frac{2\pi}{M}}$$

4. Subcarrier Mapping

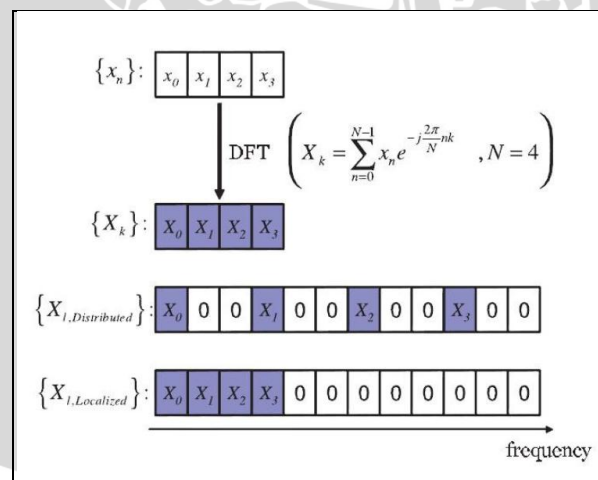
Pada sisi pengirim, setelah dilakukan proses DFT dihasilkan sinyal *tone diskrit* dalam domain frekuensi. Setelah itu sinyal tersebut dipetakan dengan teknik tertentu. Ada 2 tipe pemetaan *subcarrier* (*subcarrier mapping*), yaitu *Localized SC-FDMA* dan *Distributed SC-FDMA* (*Interleaved*).

a. *Localized SC-FDMA*

Pada jenis *mapping* ini, sinyal *sample* dalam domain frekuensi dipetakan ke dalam beberapa *subcarrier* secara mengelompok atau terlokalisasi. Pada jenis *mapping* ini, modulasi simbol dipindahkan ke *N-subcarrier* yang berdekatan.

b. *Distributed SC-FDMA / Interleaved SC-FDMA*

Pada jenis *mapping* ini, sinyal *sample* dalam domain frekuensi dipetakan ke dalam beberapa *subcarrier* secara terdistribusi atau menyebar. Jenis ini menawarkan peningkatan *frequency diversity* seperti halnya OFDM, sehingga jenis ini memiliki keunggulan tahan terhadap *frequency selective fading*. Selain itu, *distributed SC-FDMA* juga mengurangi PAPR lebih besar dibanding tipe *localized*. Namun demikian, dalam teknologi LTE ini lebih disukai menggunakan tipe *localized SC-FDMA* karena lebih sederhana dan terhindar dari ISI maupun *frekuensi offset*. Misal terdapat 3 pengguna berbagi dalam 12 *subcarrier* dengan masing-masing memiliki 4 blok data simbol yang akan ditransmisikan pada saat bersamaan. Gambar 2.18 menunjukkan proses *mapping* untuk pengguna 1, sedangkan untuk pengguna 2 dan 3 polanya sama seperti pengguna 1.



Gambar 2.18. *Localized SC-FDMA dan Distributed SC-FDMA (Interleaved).*

(Sumber : Jin Xinzhu, 2007)

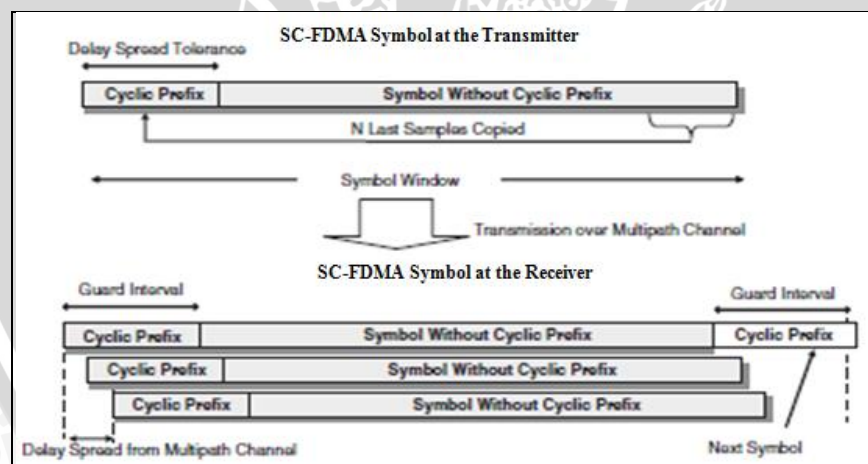
Keluaran dari proses DFT dari data blok adalah 4 *sample* dalam domain frekuensi yang akan dipetakan ke dalam 12 *subcarrier*. Jika menggunakan *localized SC-FDMA*, ke-empat *sample* tersebut dipetakan mengelompok pada $x_1, x_2, x_3,$ dan x_4 . Sedangkan pada pemetaan *distributed SC-FDMA*,

sampel-sampel tersebut disebar ke kedua belas *subcarrier* tersebut, yaitu pada x_1 , x_4 , x_7 , dan x_{10} . (Hyung G. Myung, 2009)

5. Add / Remove Cyclic Prefix

Salah satu masalah yang terpenting dalam komunikasi nirkabel adalah *delay spread*. *Delay spread* dapat menimbulkan *Intersymbol Interference* (ISI). Selain itu, ISI dapat pula terjadi dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *subcarrier*. Untuk mencegah terjadinya ISI maka pada tiap simbol SC-FDMA disisipkan *guard interval* secara periodik. Bila panjang *guard interval* melebihi *multipath delay*, maka ISI dapat dihilangkan. (Amitabh Kumar, 2008)

Akan tetapi penggunaan *guard interval* tidak dapat mencegah terjadinya *Intercarrier Interference* (ICI) sehingga *orthogonalitas* antar *subcarrier* tidak mampu dijaga. Untuk mengatasi masalah ini, simbol SC-FDMA diperpanjang secara *cyclic* dalam *guard interval* atau disebut dengan *cyclic prefix*. Dengan penambahan *cyclic prefix* maka masalah interferensi (ISI dan ICI) yang terjadi pada komunikasi nirkabel dapat diatasi. Proses penambahan *cyclic prefix* dapat dilihat pada Gambar 2.19. ISI dan ICI dapat dicegah jika panjang *cyclic prefix* melebihi panjang *delay spread* maksimum.



Gambar 2.19. Penggunaan *Cyclic Prefix*
(Sumber: H. Holma dan A. Toskala, 2007)

Kemudian pada bagian penerima dilakukan pembuangan *cyclic prefix* yang kemungkinan telah terkena efek ISI. Hal ini dilakukan karena sinyal yang harus diterima oleh bagian penerima adalah sinyal asli yang dikirimkan, yaitu simbol tanpa *cyclic prefix*.

6. Konversi Digital ke Analog (D/A) dan Konversi Analog ke Digital (A/D)

Pada pemancar, konverter *digital-to-analog* (D/A) mengkonversikan sinyal digital SC-FDMA ke dalam format analog. Sedangkan pada sisi penerima, konverter *analog-to-digital* (A/D) mengkonversikan sinyal analog OFDMA ke dalam format digital.

Kemudian pada bagian *receiver* terdapat *equalizer* untuk mengatasi ISI maupun *error*. Dan di bagian akhir *receiver* dilakukan deteksi dan *decoding* hingga menjadi aliran *bit* informasi kembali.

2.4.2 Resource Block Uplink LTE

Sinyal yang ditransmisikan dalam setiap slot digambarkan oleh sebuah *resource grid* yang terdiri dari N_{RB}^{UL} N_{SC}^{RB} *subcarrier* dan N_{ymb}^{UL} simbol SC-FDMA. Setiap elemen dalam *resource grid* disebut *resource element* dan khas dengan diberi indeks (k,l) dalam suatu slot, dimana k dan l adalah indeks pada frekuensi dan domain waktu.

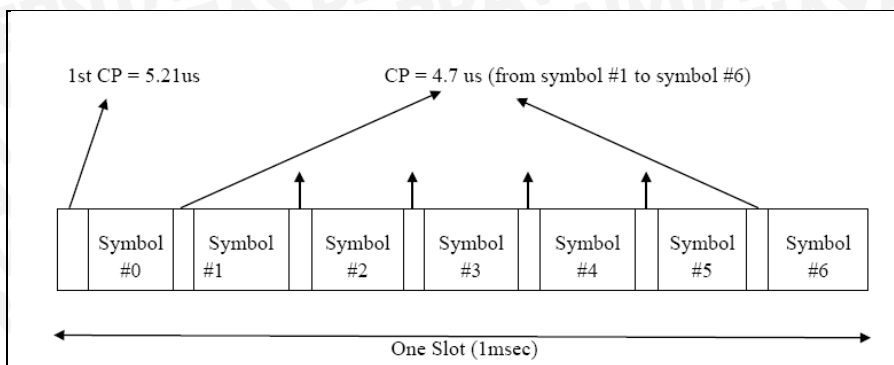
Resource block digunakan untuk mendeskripsikan pemetaan dari kanal fisik tertentu ke *resource element*. Suatu *physical resource block* (PRB) terdiri dari N_{RB}^{UL} x N_{SC}^{RB} *resource element*, dimana 1 slot sepanjang 0,5 ms dalam domain waktu dan 180 KHz dalam domain frekuensi. Konfigurasi *resource block* berdasarkan panjang *cyclic prefix* dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Parameter *Resource Block Uplink*

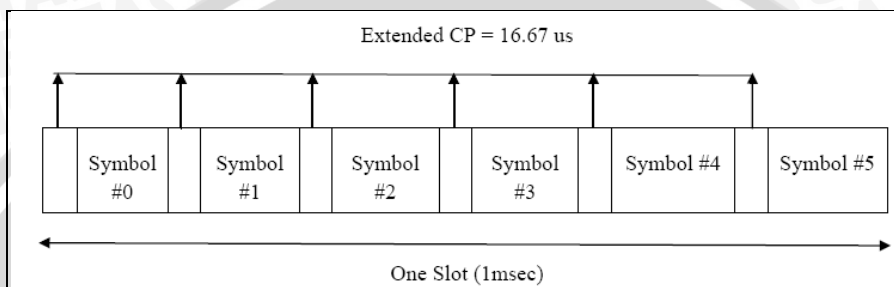
Konfigurasi	N_{SC}^{RB}	N_{RB}^{UL}
<i>normal cyclic prefix</i>	12	7
<i>extended cyclic prefix</i>	12	6

(Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

Untuk LTE, jarak frekuensi antar *subcarrier* standar adalah 15 KHz. Alternatif lain adalah 7,5 KHz yang akan diimplementasikan pada rilis berikutnya untuk aplikasi *broadcast* seperti *mobile TV*. Gambar 2.20 menunjukkan struktur slot untuk kedua tipe *cyclic prefix*.



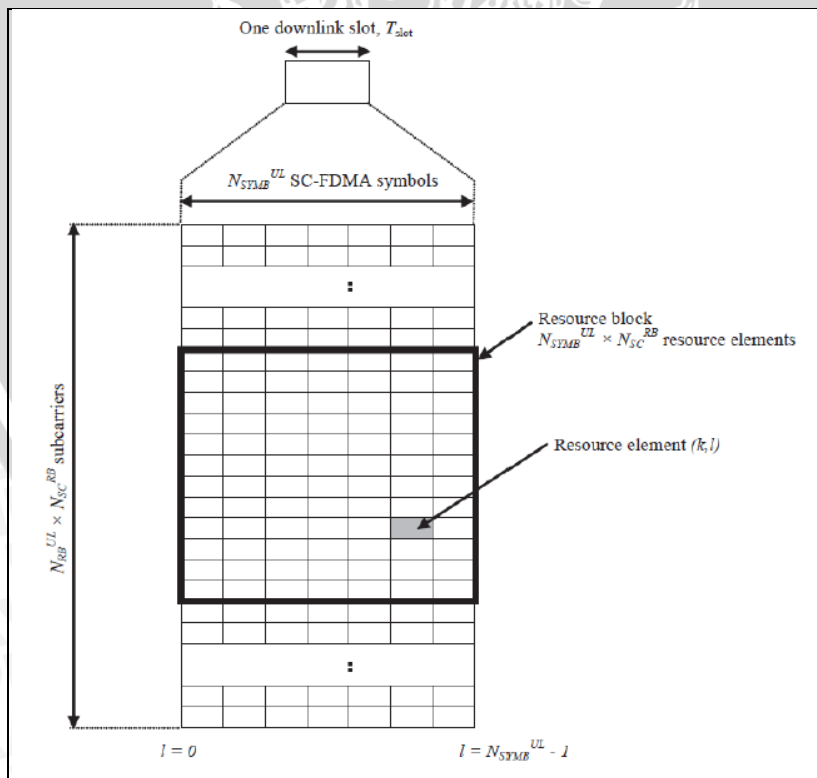
(a)



(b)

Gambar 2.20. (a) Struktur Slot Uplink untuk Tipe Normal Cyclic Prefix, (b) Extended Cyclic Prefix
(Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

Gambar berikut merupakan *resource grid* pada transmisi *uplink* :



Gambar 2.21. Resource Grid untuk Uplink LTE
(Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

N_{RB}^{UL} = jumlah *resource block*

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

$N_{RB}^{UL} \times N_{SC}^{RB}$ = Total transmisi (*bandwidth* LTE : 1,4 MHz hingga 20 MHz).

N_{symb}^{UL} = Jumlah simbol SC-FDMA dalam satu slot

$N_{symb}^{UL} \times N_{SC}^{RB}$ = Jumlah *resource element* dalam satu *resource block*

Dari Gambar 2.21 dapat dilihat bahwa setiap *resource block* (RB) terdiri dari 12 *subcarrier* (dalam domain frekuensi) dan 7 simbol SC-FDMA (dalam domain waktu) jika menggunakan *cyclic prefix* normal. *Bandwidth subcarrier* dalam domain frekuensi adalah 15 KHz, sehingga *bandwidth* satu *physical resource block* (PRB) adalah 180 KHz. Jumlah N_{RB}^{UL} bergantung pada *bandwidth* transmisi *uplink* yang digunakan, serta harus memenuhi :

$$N_{RB}^{min,UL} \leq N_{RB}^{UL} \leq N_{RB}^{max,UL}$$

$$N_{RB} \text{ (Number of RB)} = \frac{\text{Bandwidth LTE}}{\text{Bandwidth Resource Block}} \quad (2.8)$$

Sehingga didapatkan: $N_{RB}^{min,UL} = 6$ dan $N_{RB}^{max,UL} = 110$.

Struktur pada Gambar 2.21 menggunakan struktur tipe 1, yaitu untuk operasi *band* berpasangan (FDD), dimana transmisi *downlink* dan *uplink* beroperasi pada frekuensi yang berbeda. LTE juga mendukung untuk operasi TDD. Untuk TDD, struktur dasar *resource block* dan *resource element* tetap sama, tetapi dalam satu PRB sebagian *sub frame* digunakan untuk *downlink* dan sisanya digunakan untuk *uplink* atau sebagai *special frame* (untuk beralih antara transmisi *uplink* dan *downlink*).

Tabel 2.6. Parameter SC-FDMA pada Kanal *Uplink* LTE

	<i>Bandwidth</i> (Mhz)					
	1,4	3	5	10	15	20
Ukuran DFT/IDFT	128	256	512	1024	1536	2048
Sampling rate	½	1/1	2/1	4/1	6/1	8/1
Jumlah subcarrier	72	180	300	600	900	1200
Jumlah resource block	6	15	25	50	75	100

(Sumber : Syed Hamid Ali Shah *et al*, 2009)

2.5 Kanal Propagasi

Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem nirkabel, yang tentunya menggunakan medium nirkabel, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut adalah (Gunawan Wibisono, 2008) :

1) *Noise* atau derau

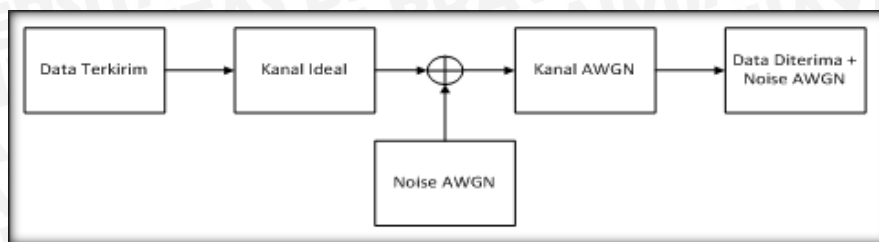
Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem nirkabel, sinyal asli dapat bercampur dengan sinyal *noise*. Sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan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

2) *Fading*

Fading merupakan fluktuasi amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal oleh *receiver* akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai di 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 pelemahan sinyal yang diterima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di penerima akan mengalami fluktuasi. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*.

2.5.1 Kanal AWGN

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise Additive White Gaussian Noise* (AWGN). 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 dimodelkan dalam Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

(Sumber : Muh Arief Nugroho, 2008)

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, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. (John G. Proakis, 2000)

Besarnya daya *noise* AWGN dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.9) berikut :

$$N_o = k \cdot T \cdot B \quad (2.9)$$

dengan :

N_o = daya *noise* saluran transmisi (J Hz atau watt)

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

T = temperature operasi sistem (K)

B = bandwidth (Hz)

Dari Persamaan (2.9) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan telekomunikasi manapun akan selalu ada, selama temperatur perangkat telekomunikasi yang bekerja pada suhu di atas 273 K. Sistem transmisi dengan kanal AWGN adalah kanal dengan kondisi sistem paling sempurna karena gangguan dari luar diabaikan.

Derau kanal dapat merusak sinyal, karena sinyal yang diterima tidak lagi sama dengan sinyal yang dikirim. Sinyal yang diterima dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$r(t) = S_1(t) + n(t), 0 < t < T \quad (2.10)$$

dengan,

$r(t)$ = Sinyal yang diterima di tujuan (Volt)

$S_1(t)$ = kanal antara tiap *node*

$n(t)$ = *Noise* Gaussian (Volt)

AWGN dapat dideskripsikan sebagai proses acak yang terdistribusi Gaussian dengan rata-rata (*mean*) sama dengan nol. Proses acak Gaussian $n(t)$ merupakan fungsi

acak dengan harga n saat t , dan dikarakteristikan secara statistik dengan fungsi rapat probabilitas, *Probability Distribution Function* (PDF) Gaussian sebagai berikut :

$$P(n) = \frac{1}{\sigma_A \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{n}{\sigma_A} \right)^2 \right] \quad (2.11)$$

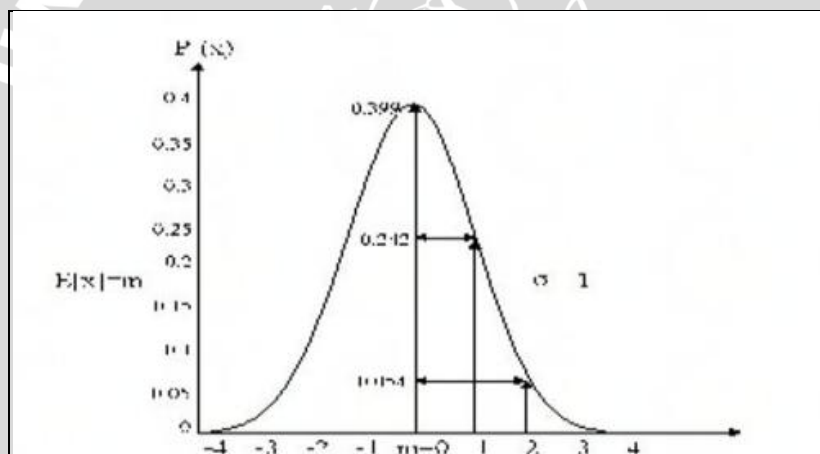
dengan,

$P(n)$ = probabilitas kemunculan *noise*

n = nilai rata-rata (*mean*)

σ_A^2 = daya rata-rata dari waktu deteksi selubung, varians derau (watt) = $N_0/2$

Grafik fungsi rapat probabilitas (pdf) Gaussian ternormalisasi dari suatu proses acak dengan nilai rata-rata $n = 0$ nilai pdf yang diperoleh adalah nilai tertinggi (0,399), hal ini menunjukkan rata-rata pada proses acak ini adalah nol. Dengan hasil yang diperoleh, didapatkan fungsi rapat probabilitas (pdf) Gaussian dengan $\sigma = 1$, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.23 :

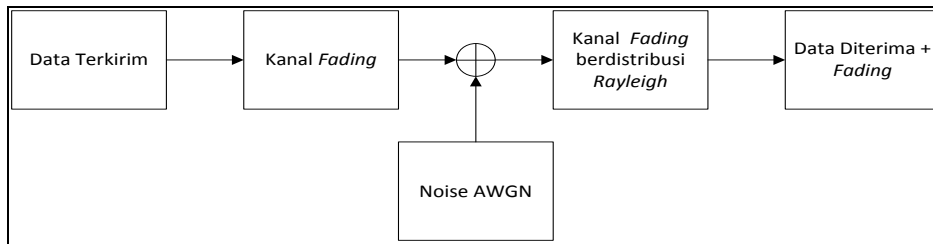


Gambar 2.23. Fungsi Rapat Probabilitas Gaussian

(Sumber : John G. Proakis, 2000)

2.5.2 Kanal Rayleigh Fading

Kanal *fading* merupakan kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi nirkabel, yang 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* sehingga fenomena ini lebih dikenal dengan *Rayleigh Fading Model*. Kanal *fading* dimodelkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Kanal *Rayleigh Fading*
(Sumber : Muh Arief Nugroho, 2008)

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* datar (*flat fading*) yang diterima atau selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau *Gaussian* akan membentuk distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* digunakan untuk mewakili komunikasi yang sifatnya *Non Line of Sight* (NLOS). Distribusi *Rayleigh* mempunyai fungsi kerapatan probabilitas seperti dituliskan pada Persamaan (2.12) : (Baharuddin, 2007)

$$f_R(r) \begin{cases} \frac{r}{\sigma_R^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_R^2}\right), & r \geq 0 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.12)$$

dengan,

$f_R(r)$ = fungsi sinyal berdistribusi *Rayleigh*

σ_R^2 = varians dari sinyal = $0,4292 (\sqrt{2} \sigma_A)^2$

r = *magnitude* dari sinyal = $1,2533 (\sqrt{2} \sigma_A)$

Komunikasi bergerak harus memperhitungkan pergerakan yang dilakukan pengirim maupun penerima, karena pergerakan tersebut akan membuat kesalahan penerimaan sinyal pembawa yang terjadi pada penerima. Kesalahan tersebut dikenal dengan istilah pergeseran Doppler (*Doppler shift*). Daerah frekuensi sinyal yang diterima akibat pergeseran Doppler tersebut mulai dari $f_c - f_d$ sampai $f_c + f_d$ di mana f_c merupakan frekuensi sinyal pembawa dan f_d merupakan frekuensi pergeseran Doppler.

Untuk memudahkan pemahaman, digunakan ilustrasi pada Gambar 2.25. Penerima bergerak dengan kecepatan tetap v , sejauh d antara titik A dan B. Jika perbedaan panjang lintasan yang dilalui oleh sinyal dari pengirim sampai ke penerima pada titik A dan B adalah $\Delta = d \cdot \cos \theta = v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$; dimana Δt adalah waktu yang diperlukan penerima untuk bergerak dari A ke B, dan θ diasumsikan sebagai sudut

datang jika sinyal datang dari jarak yang jauh. Perubahan fasa sinyal terima dikarenakan perbedaan panjang lintasan adalah:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi \cdot \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot v \cdot \Delta t}{\lambda} \cos \theta \quad (2.13)$$

dan perubahan frekuensi atau Doppler *shift* dinotasikan dengan f_d :

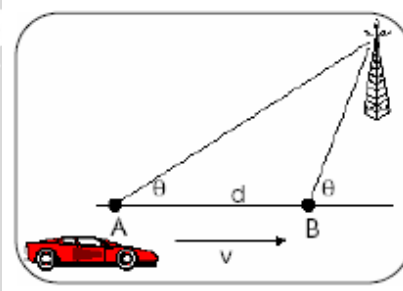
$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (2.14)$$

dengan:

v = kecepatan pergerakan relatif

λ = panjang gelombang frekuensi pembawa

θ = sudut antara arah propagasi sinyal dengan arah pergerakan relatif



Gambar 2.25. Efek Doppler Dalam Sistem Komunikasi Bergerak

(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Pergerakan pengguna menyebabkan adanya pelebaran spektrum sinyal, yang disebut *doppler spread*. Doppler spread, f_m , merupakan frekuensi doppler maksimum yang terjadi saat arah pergerakan relatif berada satu lintasan dengan arah propagasi sinyal, baik ketika penerima bergerak mendekati maupun menjauhi pengirim, sehingga sudut θ akan bernilai 0 atau π :

$$f_m = \frac{f_c v}{c} \quad (2.15)$$

dengan,

f_m = frekuensi *doppler* maksimum (Hz)

f_c = frekuensi *carrier* (Hz)

v = kecepatan pergerakan relatif (m/s)

c = kecepatan gelombang di udara (3×10^8 m/s)

Nilai frekuensi Doppler maksimum akan mempengaruhi sifat kanal dalam wilayah waktu. Nilai *time coherent* kanal (T_c) akan menentukan apakah kanal bersifat *slow fading* atau *fast fading*. *Time coherent* kanal sendiri berbanding terbalik dengan f_m .

Kanal bersifat *slow fading* jika periode simbol (T_s) jauh lebih kecil dari T_c . Sebaliknya jika T_s lebih besar dari T_c maka kanal bersifat *fast fading*. Pada kanal *fast fading* akan timbul distorsi pada sinyal yang diterima karena *gain* kanal tidak tetap selama periode simbol. Sedangkan sinyal yang melalui kanal *slow fading* tidak akan mengalami distorsi karena *gain* kanal konstan dalam satu periode simbol. Namun, bagaimanapun penurunan SNR akan tetap terjadi karena fluktuasi sinyal pada rentang beberapa simbol.

2.6 Model Propagasi

2.6.1 Propagasi *Outdoor* dan *Indoor*

Pada saat pentransmisi, gelombang radio merambat melalui media udara dan mengalami berbagai proses pemantulan, difraksi, refraksi dan *scattering*. Hal ini disebabkan karena gelombang radio melewati daerah yang memiliki kontur permukaan tidak rata. Kontur daerah yang akan dilewati gelombang radio akan sangat mempengaruhi perhitungan rugi-rugi propagasi. Area untuk propagasi gelombang radio dibagi menjadi dua jenis, yaitu propagasi *outdoor* dan propagasi *indoor*.

2.6.1.1 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.

2.6.1.2 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. Model propagasi yang digunakan untuk menghitung rugi-rugi propagasi *indoor* antara lain yaitu:

a. Rugi-rugi propagasi dalam satu lantai

Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi propagasi dalam satu lantai adalah partisi dari lantai tersebut, yang dibedakan atas *hard partition* (sekat permanen) dan *soft partition* (sekat yang dapat dipindah-pindah).

b. Rugi-rugi antar-lantai

Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi propagasi antar lantai adalah dimensi, jenis material lantai dan keadaan sekeliling dari suatu gedung.

2.6.2 Model Propagasi ECC 33

Model propagasi ECC 33 merupakan model propagasi empiris, yaitu pengukuran propagasi pada wilayah geografis yang berbeda dengan menggunakan faktor koreksi empiris. Dimulai dengan pengukuran prediksi redaman propagasi pada kawasan urban. Redaman dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi efektif antenna BS (h_b) dan tinggi antenna pengguna (h_{ue}) diukur dari atas tanah. Model propagasi ECC 33 merupakan pengembangan dari model propagasi Okumura Hata yang dirancang untuk sistem dengan frekuensi hingga 3000 MHz, tinggi antenna *base station* 30-200 meter, tinggi antenna UE 1-10 meter, dan jarak antara BS dengan UE mencapai 20 km (Mohammad Shahajahan dan A.Q.M. Abdulla Hes Shafi, 2009). Klasifikasi lingkungan suatu lintasan gelombang radio berdasarkan halangan dan tingkat kepadatan halangan dibagi menjadi tiga jenis, 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.

a. Daerah rural

Ciri-ciri daerah rural antara lain yaitu:

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

2.7 Teknik Diversitas

Teknik diversitas adalah teknik yang digunakan pada sistem komunikasi bergerak untuk mengatasi *fading* sinyal dengan menggunakan dua atau lebih sinyal yang secara statistik independen (dalam waktu, frekuensi, dan ruang) antara satu dengan yang lainnya dalam sistem nirkabel. Jadi teknik diversitas ini mengolah informasi yang sama dari beberapa sinyal yang independen dan tidak saling berkorelasi antara sinyal yang ada dan dikombinasikan oleh susunan penerima. Prinsip dasar dari diversitas adalah sebagai berikut. Jika beberapa sinyal yang membawa informasi yang sama melalui sejumlah kanal dengan *fading* yang independen, maka ada kemungkinan besar pada saat tertentu minimal satu atau lebih dari sinyal-sinyal yang diterima tidak terkena *deep fade*, hal ini memberi kemungkinan untuk mengirimkan sinyal yang memadai ke penerima. Tanpa teknik diversitas, pada kanal propagasi yang *terfading* kuat, pemancar harus memancarkan level daya yang lebih tinggi untuk menjaga *link* tetap optimal. Hal ini berarti pemborosan daya. Sebagian besar jaringan komunikasi seluler terbatas oleh interferensi, sehingga teknik mitigasi kanal dengan diversitas dapat mengurangi *carrier to interference ratio (C/I)*, serta meningkatkan faktor *reuse* dan kapasitas sistem.

Terdapat dua teknik umum untuk mendapatkan *gain* atas kanal *fading*. Pertama dengan mengirimkan sinyal berulang baik pada dimensi waktu maupun ruang. Kedua adalah sinyal dikirimkan sekali, namun memanfaatkan sifat *time-spreading* dari kanal dengan menambahkan dekorelator. Pemanfaatan diversitas membutuhkan desain *link* komunikasi yang baik. Pada bagian penerima diperlukan teknik untuk menggabungkan sinyal diversitas sehingga *bit error rate* dapat diminimalisir.

Adapun macam dari teknik diversitas antara lain adalah diversitas frekuensi (*frequency diversity*), diversitas waktu (*time diversity*), dan diversitas ruang (*space diversity*). Penjelasan dari masing-masing teknik diversitas adalah sebagai berikut :

1. Diversitas Frekuensi (*Frequency Diversity*)

Merupakan teknik diversitas yang mentransmisikan sinyal informasi yang sama namun menggunakan frekuensi *carrier* yang berbeda, yang kemudian sinyal tersebut dikombinasikan, sehingga dibutuhkan alokasi frekuensi yang berguna sebagai pemisah sinyal. Pemisahan frekuensi dari beberapa frekuensi *carrier* yang berbeda harus melebihi bandwidth dari kanal tersebut.

2. Diversitas Waktu (*Time Diversity*)

Merupakan teknik diversitas yang mentransmisikan sinyal informasi yang sama pada *time slot* yang berbeda, yang kemudian sinyal tersebut dikombinasikan. Perbedaan waktu kedatangan antara satu jalur sinyal dengan sinyal lainnya harus tidak saling berkorelasi (*uncorrelated*) sehingga keuntungan dari penggunaan diversitas bisa didapatkan.

3. Diversitas Ruang (*Space Diversity*)

Space Diversity ini juga dikenal sebagai diversitas antena. Teknik ini merupakan teknik diversitas yang menggunakan lebih dari satu antena secara bersamaan untuk mengirimkan sinyal atau menerima sinyal. Secara fisik, setiap antena mempunyai jarak tertentu sehingga sinyal yang ditransmisikan tidak berkorelasi satu sama lain. Teknik diversitas ini adalah yang paling umum digunakan karena mudah untuk diaplikasikan dan tidak membutuhkan tambahan alokasi spektrum frekuensi.

Adapun contoh dari teknik diversitas ini, yaitu diversitas polar dan diversitas sudut. Diversitas polar diimplementasikan menggunakan beberapa antena dengan polarisasi berbeda untuk mentransmisikan sinyal. Sehingga sinyal multipath yang berbeda dan tidak berkorelasi dapat diperoleh dengan menggunakan polarisasi sinyal yang berbeda-beda, yaitu horisontal dan

vertikal. Sedangkan diversitas sudut merupakan teknik diversitas yang memanfaatkan sinyal multipath yang datang dari arah yang berbeda.

Berdasarkan antenna yang digunakan untuk mengirim sinyal dan menerima sinyal, maka teknik diversitas ini dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *transmit diversity* dan *receive diversity*. Pada *receive diversity*, beberapa antenna (antenna jamak) digunakan pada sebuah *receiver* untuk menerima sejumlah sinyal independen. Sedangkan pada *transmit diversity*, beberapa antenna digunakan pada sebuah *transmitter* untuk mengirim sejumlah sinyal independen.

Berdasarkan jumlah antenna yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal baik di sisi *transmitter* maupun dari *receiver*, maka sistem transmisi dibedakan menjadi 4 macam, yaitu *Single Input Single Output (SISO)* 1x1, *Single Input Multiple Output (SIMO)* 1xN, *Multiple Input Single Output (MISO)* Mx1, dan *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* MxN. Dengan M menunjukkan jumlah antenna di sisi *transmitter* dan N menunjukkan jumlah antenna di sisi *receiver*. Pada skripsi ini, akan dianalisis penggunaan SISO dan teknik antenna jamak SIMO.

2.7.1 *Single Input Single Output (SISO)*

Sistem SISO banyak digunakan oleh masyarakat pada umumnya. Sistem ini menggunakan antenna *transmitter* (T_x) dan *receiver* (R_x) tunggal untuk mentransmisikan sinyal melalui kanal komunikasi. Teknik ini sering digunakan dalam siaran radio, TV, dan teknologi nirkabel pribadi (misalnya *Wi-Fi* dan *bluetooth*). Gambar 2.26 menunjukkan model sistem dengan menggunakan SISO. Dalam sistem ini tidak diperlukan metode khusus dalam pentransmisiannya, karena sinyal dari T_x akan langsung dikirim ke R_x .

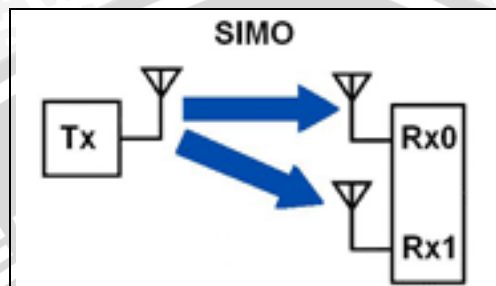


Gambar 2.26. Konfigurasi SISO

(Sumber : <http://www.agilent.com>)

2.7.2 Single Input Multiple Output (SIMO)

Penggunaan teknik antena jamak bertujuan untuk meningkatkan kinerja suatu sistem. Sistem transmisi dengan menggunakan satu buah antena pada sisi *transmitter* (T_x) dan N buah antena pada sisi *receiver* (R_x), dengan $N > 1$ dinamakan *Single Input Multiple Output* (SIMO). Gambar 2.27. menunjukkan sistem transmisi dengan konfigurasi SIMO.



Gambar 2.27. Konfigurasi SIMO
(Sumber : <http://www.agilent.com>)

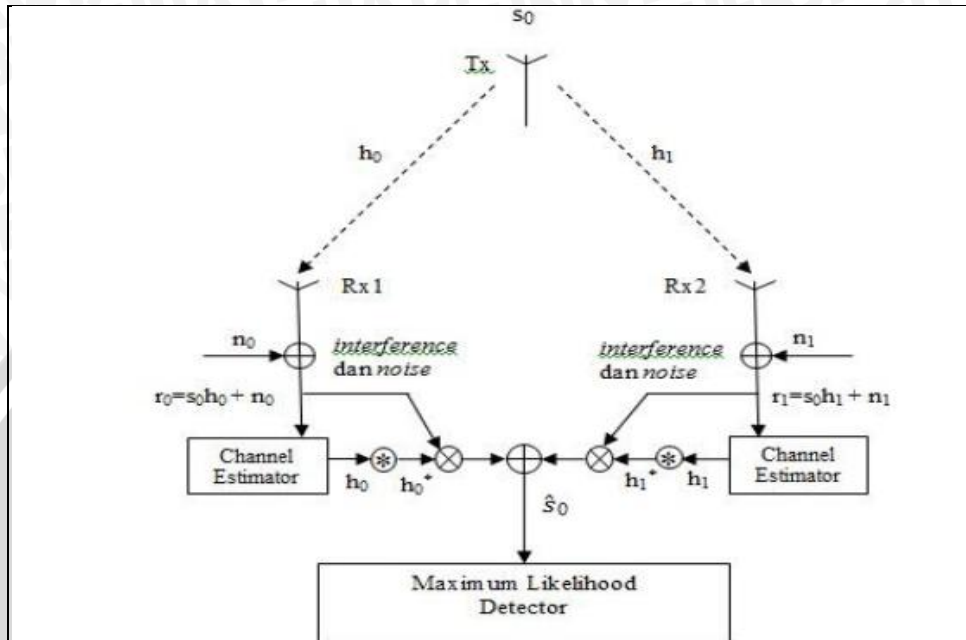
Implementasi konfigurasi SIMO pada kanal *uplink* LTE hanya digunakan satu buah antena pada *User Equipment* (UE) dan ENodeB harus memiliki minimal dua antena penerima. *Receiver* dapat memilih salah satu antena yang baik untuk menerima sinyal yang kuat atau sinyal kombinasi dari semua antena yang dapat meningkatkan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Teknik pertama dikenal sebagai *selection diversity*. Dan yang kedua diimplementasikan menggunakan teknik *Maximum Ratio Combining* (MRC) pada aliran data yang diterima untuk memperbaiki SNR pada kondisi propagasi yang buruk, sehingga sinyal yang akan diproses selanjutnya adalah sinyal dengan kualitas SNR terbaik. Dalam skripsi ini akan digunakan teknik MRC.

2.7.3 Maximal Ratio Combining (MRC)

MRC merupakan salah satu metode untuk mengkombinasikan sinyal informasi yang sama namun mengalami *fading* yang berbeda sehingga akhirnya didapatkan satu sinyal informasi hasil kombinasi. MRC digunakan pada skema antena jamak pada bagian penerima. Metode ini dilakukan dengan cara memanfaatkan semua replika yang diterima, kemudian memberikan bobot berdasarkan karakteristik masing – masing kanal yang dilalui oleh replika sinyal (*conjugate*). Setelah diberikan nilai pembobot tersebut, semua replika sinyal dijumlahkan baru dideteksi.

Pada Gambar 2.28 menunjukkan model MRC. *Bit stream* yang ditransmisikan dinyatakan dengan (s_0, s_1, \dots, s_n) . Kanal antara antena pemancar pertama dengan

penerima dinyatakan dengan h_0 , kanal antara antenna pemancar dengan penerima dinyatakan dengan h_1 . Diasumsikan $h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0}$ dan $h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1}$. Sinyal yang diterima oleh penerima adalah $r_0 = h_0 s_0 + n_0$ dan $r_1 = h_1 s_1 + n_1$ dengan n_0 dan n_1 adalah derau kompleks Gaussian.



Gambar 2.28. Skema *Maximal Ratio Combining* (MRC)

(Sumber : M Lukmanul Hakim, 2010)

Penerima mengestimasi simbol menggunakan Persamaan (2.16):

$$y = h_0^* r_0 + h_1^* r_1 = |h_0|^2 s_0 + |h_1|^2 s_1 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 \quad (2.16)$$

sehingga sinyal keluaran MRC dapat dituliskan pada Persamaan (2.17):

$$y = \sum_{i=1}^k h_i^* \cdot r_i \quad (2.17)$$

dengan,

y : sinyal output MRC di tujuan

r_i : sinyal yang diterima di tujuan

h_i^* : konjugasi koefisien kanal sinyal n_i

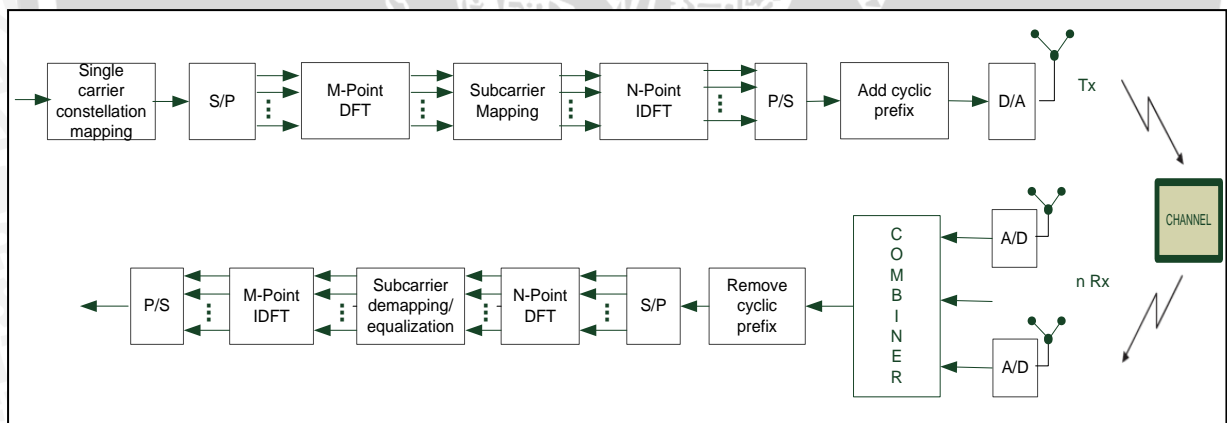
Selanjutnya sinyal dari *combiner* dikirim ke *Maximum Likelihood Detector* untuk melakukan proses pengambilan keputusan dimana sinyal yang diharapkan adalah sama dengan sinyal input.

Teknik MRC ini merupakan teknik yang terbaik dari metode *combining*. Hal ini dikarenakan pada teknik ini semua sinyal yang diterima diproses secara simultan, selain itu setiap sinyal dikalikan dengan konjugasi koefisien kanal masing-masing sinyal.

2.8 Single Input Multiple Output Single Carrier - Frequency Division Multiple Access (SIMO SC-FDMA) pada Long Term Evolution (LTE)

Pada kanal *uplink* LTE release 8 telah diijinkan untuk menggunakan satu, dua atau empat antena penerima, namun hanya ditetapkan satu antena pemancar yang boleh digunakan. Teknologi ini juga disebut juga komunikasi *Single Input Multiple Output* (SIMO). Hal ini dikarenakan kenaikan laju data pada kanal *uplink* LTE tidak sepenting pada kanal *downlink* akibat distribusi trafik yang tidak simetris. Pada kanal *uplink* LTE release 8, laju data yang dibutuhkan adalah sekitar 50 Mbps, bisa jadi tidak berguna untuk meningkatkan daya transmisi dari UE untuk mencukupi SNR yang dibutuhkan pada penerima eNB.

Penggunaan teknologi SIMO bertujuan untuk mendapatkan kualitas sinyal lebih tinggi dengan cara mengkombinasikan sinyal di sisi penerima untuk diperoleh sinyal terbaik. Maka dari itu, untuk meningkatkan kinerja kanal *uplink* LTE serta untuk mengurangi kompleksitas di sisi pengguna, lebih efisien jika menggunakan sistem SIMO. Gambar 2.29 menunjukkan blok diagram pemancar dan penerima pada SIMO SC-FDMA.



Gambar 2.29. Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem SIMO SC-FDMA

(Sumber : George Tsoulos, 2006)

2.9 Kinerja Sistem SC-FDMA pada LTE

2.9.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.18):

$$SNR = P_r - N_o \quad (2.18)$$

dengan,

SNR = signal to noise ratio (dB)

P_r = daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Daya yang diterima *receiver* (P_r) dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Daya terima dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.19): (Mukesh Kumar *et al*, 2012)

$$P_r = P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - PL - 10 \log(N) \quad (2.19)$$

dengan,

P_r = daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)

P_t = daya pancar *transmitter* (dB)

G_t = gain *transmitter* (dBi)

L_t = *transmitter losses (cable loss)* (dB)

G_r = gain *receiver* (dBi)

L_r = *receiver losses (body loss)* (dB)

P_L = *path loss* (dB)

N = jumlah *subcarrier*

Perhitungan nilai *pathloss* (PL) berdasarkan kondisi NLOS dan model propagasi ECC 33 untuk kawasan urban dapat ditentukan dengan Persamaan (2.20):

$$P_L(\text{dB}) = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (2.20)$$

dengan

P_L = redaman propagasi NLOS (dB)

A_{fs} = *Free space attenuation* (dB)

A_{bm} = *Basic medium path loss*

G_b = Faktor gain tinggi antena *User Equipment*

G_r = Faktor gain tinggi antena eNB

Dengan eksponen *free space attenuation* (A_{fs}) diperoleh dari Persamaan (2.21):

$$A_{fs} = 92,4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (2.21)$$

dengan,

d = jarak antara *transmitter* (UE) dengan *receiver* (eNB) (km)

f_c = frekuensi operasi (GHz)

Basic medium path loss dinyatakan pada Persamaan (2.22):

$$A_{bm} = 20,41 + 9,83 \log_{10}(d) + 7,894 \log_{10}(f_c) + 9,56 [\log_{10}(f_c)]^2 \quad (2.22)$$

dengan,

d = jarak antara *transmitter* (UE) dengan *receiver* (eNB) (km)

f_c = frekuensi *carrier* sistem (GHz)

Untuk faktor gain tinggi antenna *transmitter* dinyatakan pada Persamaan (2.23):

$$G_b = \log_{10}\left(\frac{h_b}{200}\right) \{ 13,958 + 5,8 [\log_{10}(d)]^2 \} \quad (2.23)$$

dengan :

d = jarak antara *transmitter* (UE) dengan *receiver* (eNB) (km)

h_b = tinggi antenna penerima (eNB) (m)

Sedangkan faktor gain tinggi antenna *receiver* dinyatakan pada Persamaan (2.24):

$$G_r = 0,759 h_{ue} - 1,862 \quad (2.24)$$

dengan,

h_{ue} = tinggi antenna *User Equipment* (m)

(Mohammad Shahajahan dan A.Q.M. Abdulla Hes Shafi, 2009)

Bandwidth merupakan lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal SC-FDMA dalam medium transmisi. Untuk menghitung nilai *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* dapat digunakan Persamaan (2.25): (Hara & Prasad, 2003)

$$B_{sistem} = \frac{R \cdot (2(1-\alpha_{cp}) + N - 1)}{(1-\alpha_{cp}) N \log_2 M} \quad (2.25)$$

dengan,

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

R = laju data (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal sesuai teknik modulasi

N = jumlah *subcarrier*

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

Sedangkan laju data dapat dihitung melalui Persamaan (2.26) berikut : (H. Holma dan A. Toskala, 2007)

$$\text{Laju data (R)} = \frac{\text{bit per symbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah symbol per subframe}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \alpha_{CP}) \quad (2.26)$$

dengan,

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

bit per simbol = jumlah bit per simbol sesuai jenis modulasi

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan *air interface* SC- FDMA diperoleh dari Persamaan (2.27) : (Hara & Prasad, 2003)

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP})SNR \quad (2.27)$$

dengan,

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

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

Nilai SNR sebuah sistem juga dipengaruhi oleh jumlah antena yang digunakan. Pada suatu sistem antena jamak dengan sebuah antena *transmitter* dan N antena *receiver*, akan terdapat sebuah sinyal dengan daya senilai P untuk ditransmisikan. Kemudian pada N *receiver* menerima sinyal-sinyal, yang melalui jalur yang berbeda, yang idealnya akan dijumlahkan secara koheren, sehingga dayanya mengalami peningkatan sebesar N^2 kali. Pada sisi lain, *noise* dari sinyal tersebut juga mengalami peningkatan daya namun penambahannya tidak koheren, sehingga dayanya hanya akan meningkat sebesar N kali lipat. SNR sistem antena jamak dapat dituliskan pada Persamaan (2.28). (Daniel Halperin *et al*, 2009)

$$SNR_{antena_jamak} = \frac{N^2 \times P}{N \times N_0} = \frac{N \times P}{N_0} = N \times SNR_{sistem} \quad (2.28)$$

dengan,

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

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

N = jumlah antena *receiver*

2.9.2 Bit Error Rate (BER)

Perhitungan nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai E_b/N_0 . E_b/N_0 adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan mutu standar kinerja sistem digital. Dari namanya, E_b/N_0 dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise*. Perhitungan nilai E_b/N_0 dijelaskan dalam Persamaan (2.29) : (David G. *et al*, 2003)

$$\frac{E_b}{N_{o\text{antena_jamak}}} = SNR_{\text{antena_jamak}} + 10 \log \frac{B_{\text{sistem}}}{R} \quad (2.29)$$

dengan,

$\frac{E_b}{N_{o\text{antena_jamak}}}$ = rasio *energy bit* terhadap *noise* sistem antena jamak (dB)

$SNR_{\text{antena_jamak}}$ = *signal to noise ratio* sistem antena jamak (dB)

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

R = laju data (bps)

N = jumlah *subcarrier*

Bit Error Rate (BER) atau probabilitas *bit error* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit error* terhadap total *bit* yang diterima. Pada LTE terdapat tiga macam teknik modulasi yang digunakan, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM, besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dituliskan dalam Persamaan (2.30) hingga (2.32). (Harada Prasad, 2003)

a. QPSK

$$P_{b,QPSK} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right] \quad (2.30)$$

dengan,

$P_{b,QPSK}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi QPSK

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

b. 16-QAM

$$P_{b,16-QAM} = \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_0)}}} \right] \quad (2.31)$$

dengan,

$P_{b,16-QAM}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi 16-QAM

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

c. 64-QAM

$$P_{b,64-QAM} = \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{E_b/N_0}}} \right] \quad (2.32)$$

dengan,

$P_{b,64-QAM}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi 64-QAM

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

2.9.3 Kapasitas Kanal Sistem

Kapasitas kanal adalah suatu kapasitas atau ukuran kemampuan kanal untuk dapat menerima data yang akan dikirim. Dalam teorema Shannon, nilai kapasitas kanal sistem dipengaruhi nilai *bandwidth* dan SNR sistem. Kapasitas kanal untuk sistem antenna jamak dapat diperoleh dengan Persamaan (2.33):

$$C_{sistem} = B_{sistem} \log_2(1 + SNR_{sistem}) \quad (2.33)$$

dengan,

C_{sistem} = kapasitas kanal sistem antenna jamak (bps)

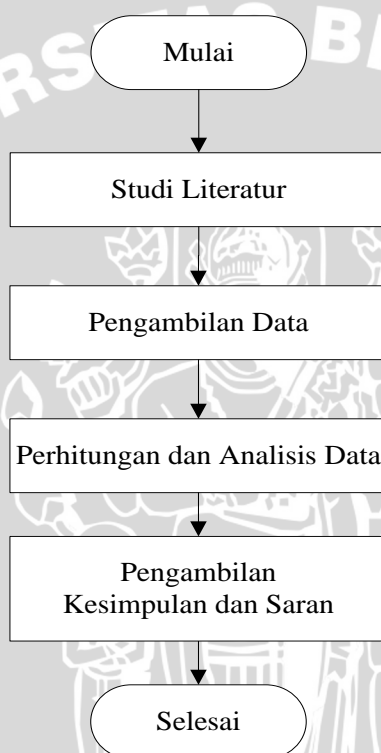
B_{sistem} = *bandwidth* (Hz)

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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Skripsi ini menggunakan kajian yang bersifat analisis, yaitu tentang pengaruh penggunaan *Single Input Multiple Output Single Carrier-Frequency Division Multiple Access* (SIMO SC-FDMA) terhadap kinerja *Long Term Evolution* (LTE). Susunan langkah yang akan dilakukan untuk mendapatkan solusi dari permasalahan dalam skripsi ini, yaitu studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis data, serta pengambilan kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1. Langkah Metode Penelitian
(Sumber : Perencanaan, 2012)

3.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang berkaitan dengan dengan permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini untuk mendukung tahap selanjutnya yaitu pengambilan data. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan pembahasan dari rumusan masalah mengenai konfigurasi jaringan SIMO pada kanal *uplink* LTE dan pengaruh penggunaan SIMO SC-FDMA terhadap peningkatan kinerja kanal *uplink* LTE. 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 memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan pada skripsi ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai mengenai LTE dan SC-FDMA. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah 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.

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

Kanal propagasi yang digunakan dalam sistem SC-FDMA adalah kanal propagasi ECC 33 dengan kanal *noise* AWGN dan kanal *Rayleigh Fading*. Kinerja sistem SC-FDMA yang meliputi parameter SNR, kapasitas kanal, dan BER merujuk pada buku "*LTE for 4G Mobile Broadband*" yang ditulis oleh Farooq Khan pada tahun 2009.

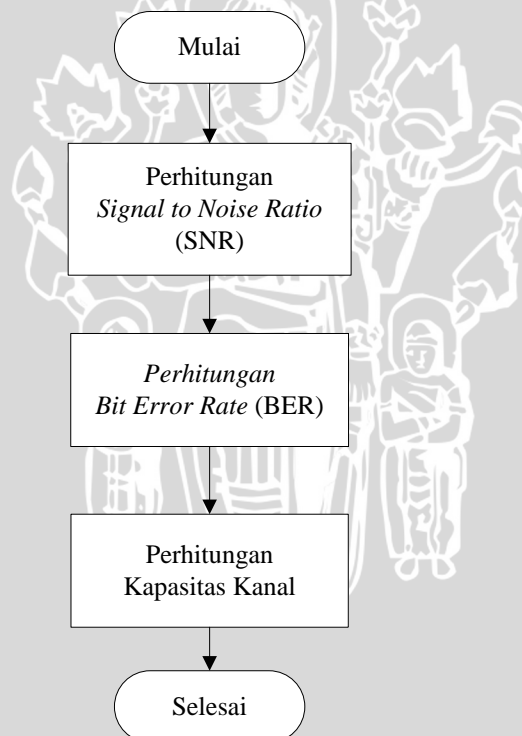
Sehingga didapatkan data sekunder berupa parameter-parameter jaringan LTE dengan penggunaan skema SC-FDMA yaitu:

- a. *Bandwidth* kanal yang digunakan adalah 10 MHz.
- b. Ukuran DFT dan IDFT yang digunakan adalah 1024.
- c. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
- d. Frekuensi *carrier* yang digunakan adalah 2600 MHz.
- e. Durasi *cyclic prefix* yang digunakan untuk mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) dan *Intersymbol Interference* (ISI) adalah 5,21 μ s.
- f. Kecepatan pengguna yang digunakan adalah 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam.
- g. Jarak antara User Equipment (UE) dan eNB adalah antara 600 m – 1,4 km.

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 kemudian diolah dalam rumus-rumus yang telah didapatkan sebelumnya dari studi literatur. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* matlab 7.0.0.19920 (R14) untuk mempermudah dalam proses perhitungan dan penyajian.

Parameter dari jaringan LTE yang dibahas meliputi SNR, BER, dan kapasitas kanal. Sedangkan teknik antena jamak yang digunakan meliputi SIMO 1x2, SIMO 1x4, dan SISO. Gambar 3.2 merupakan diagram alir perhitungan data parameter kinerja teknologi SIMO SC-FDMA pada jaringan LTE.

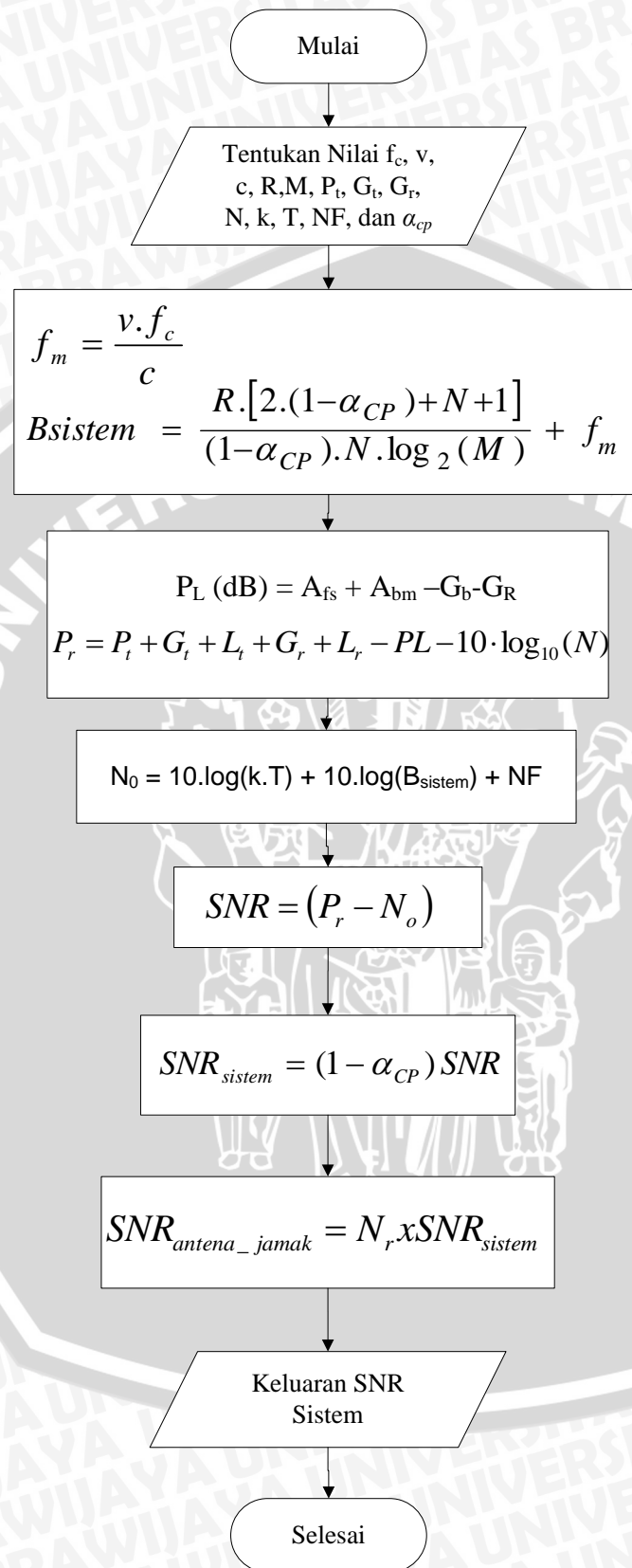


Gambar 3.2. Diagram Alir Perhitungan Data

(Sumber : Perencanaan, 2012)

Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan parameter kinerja yang diinginkan :

1. Perhitungan *signal to noise ratio* sistem, dengan cara :

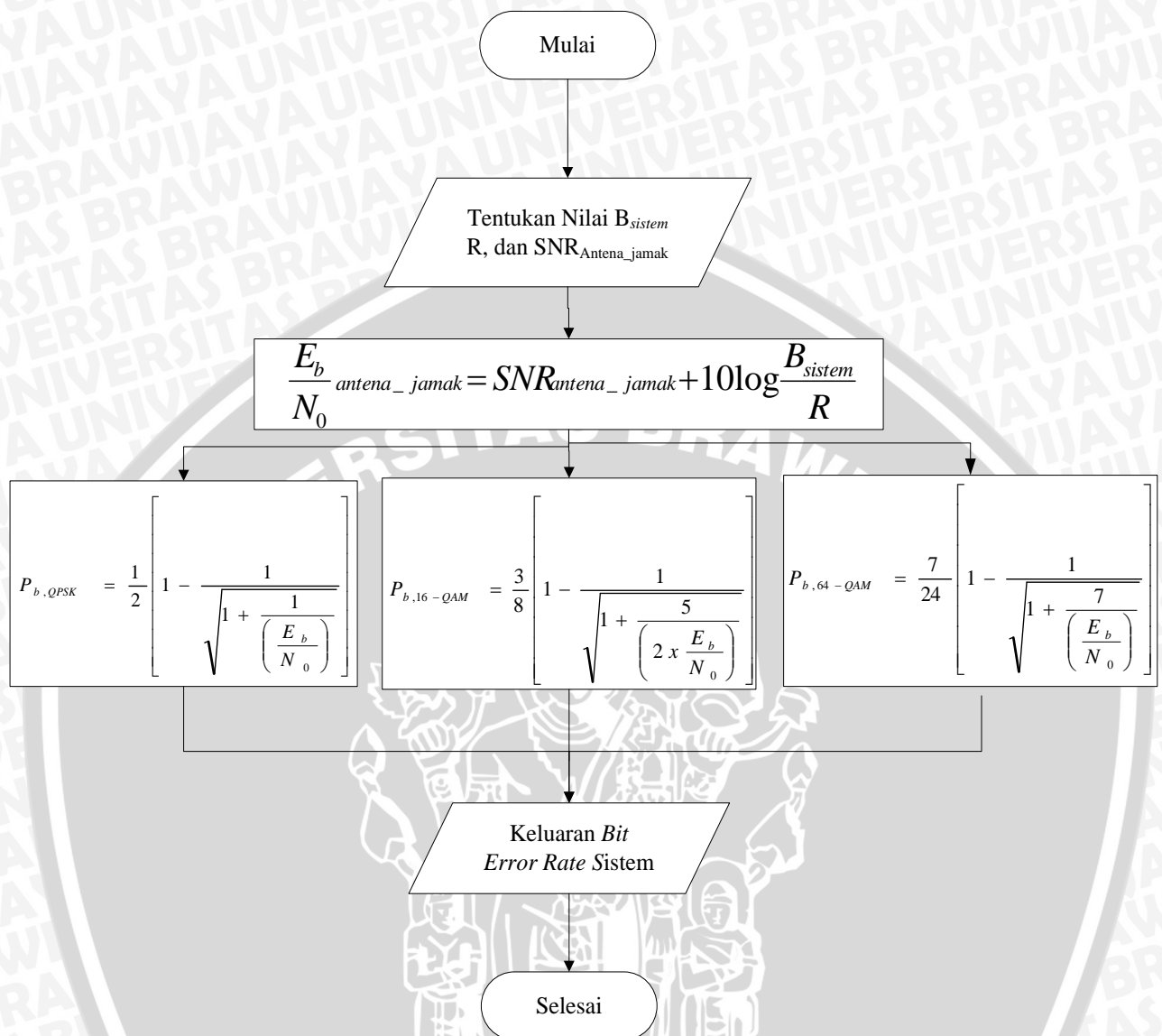


Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan *Signal To Noise Ratio* (SNR) Sistem.

(Sumber : Perencanaan, 2012)

Keterangan :

f_m	= frekuensi <i>doppler</i> maksimum (Hz)
v	= kecepatan pergerakan relatif (m/s)
f_c	= frekuensi <i>carrier</i> (2,6 GHz)
c	= kecepatan gelombang di udara (3×10^8 m/s)
B_{sistem}	= <i>bandwidth</i> sistem (Hz)
α_{cp}	= faktor <i>cyclic prefix</i>
N	= jumlah <i>subcarrier</i>
R	= laju data (bps)
M	= jumlah kemungkinan sinyal sesuai teknik modulasi
A_{fs}	= <i>Free space attenuation</i> (dB)
A_{bm}	= <i>Basic medium path loss</i>
G_b	= Faktor gain tinggi antenna <i>User Equipment</i>
G_R	= Faktor gain tinggi antenna eNB
P_t	= daya pancar (dBm)
G_t	= <i>gain</i> antenna pemancar (dBi)
G_r	= <i>gain</i> antenna penerima (dBi)
L_t	= <i>cable loss</i> (dB)
L_r	= <i>body loss</i> (dB)
P_L	= rugi-rugi propagasi (dB)
d	= jarak antara UE dengan eNB (km)
P_r	= daya terima (dBm)
N_o	= daya <i>noise</i> saluran transmisi (dBm)
k	= konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
T	= suhu <i>absolute</i> (300 K)
NF	= <i>noise figure</i> (2 dB)
SNR_{sistem}	= <i>signal to noise ratio</i> sistem (dB)
N_r	= jumlah antenna <i>receiver</i>

2. Perhitungan *bit error rate* sistem, dengan cara :

Gambar 3.4. Diagram Alir Perhitungan *Bit Error Rate* Sistem
(Sumber : Perencanaan, 2012)

Keterangan :

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

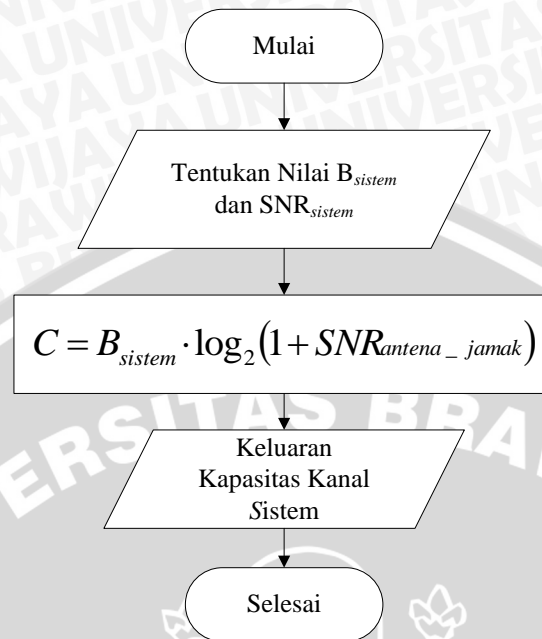
R = laju data (bps)

$SNR_{\text{antena_jamak}}$ = *Signal to Noise Ratio* sistem antena jamak (dB)

$E_b/N_{0\text{antena_jamak}}$ = rasio *energy bit* terhadap *noise* sistem antena jamak (dB)

P_b = *Probability of Bit Error*

3. Perhitungan kapasitas kanal sistem (C), dengan cara :



Gambar 3.5. Diagram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem
(Sumber : Perencanaan, 2012)

Keterangan :

- B_{sistem} = bandwidth sistem (Hz)
 $SNR_{\text{antena_jamak}}$ = *Signal to Noise Ratio* sistem antena jamak (dB)
 C = kapasitas kanal (bps)

3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan ringkasan akhir dari pemecahan masalah. Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis yang meliputi :

1. Pengaruh penggunaan SIMO SC-FDMA terhadap kinerja kanal *uplink* LTE.
2. Kinerja SIMO 1x2 pada kanal *uplink* LTE untuk parameter SNR, BER, dan kapasitas kanal jika dibandingkan dengan SIMO 1x4, dan SISO dengan modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

3. Pengaruh kecepatan pengguna terhadap kinerja LTE jika diterapkan SIMO SC-FDMA pada kanal *uplink* dengan modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

Kemudian dilakukan juga pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang penelitian ini, ataupun sebagai pendukung dari penelitiannya.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil perhitungan pengaruh penerapan sistem antena jamak, *Single Input Multiple Output* (SIMO), terhadap kinerja *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada kanal *uplink Long Term Evolution* (LTE) Release 8 yang dikembangkan oleh *The 3rd Generation Partnership Project* (3GPP). Analisis yang akan dilakukan meliputi parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR), kapasitas kanal, dan *Bit Error Rate* (BER). Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM serta menggunakan model propagasi ECC 33 dengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Perhitungan dilakukan dengan program Matlab 7.0.0.19920 (R14). Hasil perhitungan penggunaan SIMO 1x2 pada LTE terhadap perubahan nilai SNR, kapasitas kanal, dan BER dibandingkan dengan hasil perhitungan penggunaan SISO dan SIMO 1x4, merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini. Selain itu, dalam bab ini juga akan dibahas mengenai pengaruh beberapa kecepatan pengguna terhadap kinerja LTE.

4.2 Analisis Pengaruh *Single Input Multiple Output* (SIMO) terhadap Kinerja *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada Kanal *Uplink Long Term Evolution* (LTE)

Dalam sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan SIMO pada kanal *uplink* LTE. Model propagasi yang digunakan adalah pemodelan ECC 33 dengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*.

Skema transmisi kanal *uplink* LTE menggunakan teknik *multiple access* SC-FDMA. Dengan metode SC-FDMA ini masalah tingginya konsumsi daya pada *receiver* yang dialami oleh OFDMA dapat diatasi. Sistem SC-FDMA dapat menjaga setiap *subcarrier* satu dengan lainnya agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya *inter-symbol interference* (ISI), dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP). Pada kanal *uplink*

LTE release 8, dapat diterapkan teknik antena jamak pada bagian penerima, yang disebut *Single Input Multiple Output (SIMO)*.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis pengaruh SIMO SC-FDMA pada LTE adalah menggunakan standar 3GPP *Release 8*. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Sedangkan total laju data yang digunakan disesuaikan dengan jenis modulasi dan *bandwidth*. Parameter *kinerja* yang akan dianalisis terdiri dari kinerja *signal-to-noise ratio (SNR)*, kapasitas kanal, dan *bit error rate (BER)*.

4.2.1 Analisis Pengaruh SIMO Terhadap *Signal to Noise Ratio (SNR)* Sistem LTE

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio (SNR)* dilakukan pada kanal *wireless* dengan menggunakan model kanal *noise AWGN* dan *Rayleigh Fading*. Untuk menganalisis SNR, diperlukan perhitungan laju data, *bandwidth* sistem, dan redaman propagasi.

- **Laju Data**

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.

Sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Bab II, LTE dengan spesifikasi 3GPP *Release 8* pada sisi *uplink* menggunakan *air interface SC-FDMA*. Pada sistem komunikasi yang menggunakan teknik SC-FDMA, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Pada perhitungan laju data, kanal *bandwidth* dibutuhkan untuk mengetahui jumlah *subcarrier*. Pada skripsi ini, diasumsikan menggunakan 13 simbol/1 ms *subframe* dengan faktor *cyclic prefix* (α_{CP}) = 0,0729, sehingga laju data dapat dihitung melalui Persamaan (2.26) :

$$\text{Laju Data } (R, \text{Kbps}) = \frac{\text{bit per simbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah simbol /subframe}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \alpha_{CP})$$

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK membawa 2 *bit/symbol*, pada kanal 10 MHz diperoleh jumlah *subcarrier* 600, maka didapatkan nilai laju data :

- $$\begin{aligned} \text{Laju data}(QPSK) &= \frac{2}{\text{Hz}} \times 600 \times \frac{13}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,0729) \\ &= 14,4628 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, didapatkan :

- $$\begin{aligned} \text{Laju data } (16 - QAM) &= \frac{4}{\text{Hz}} \times 600 \times \frac{13}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,0729) \\ &= 28,9255 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{Laju data}(64 - QAM) &= \frac{6}{\text{Hz}} \times 600 \times \frac{13}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,0729) \\ &= 43,3883 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan hasil perhitungan laju data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Laju Data

Modulation	Laju data (Mbps)
QPSK	14,4628
16-QAM	28,9255
64-QAM	43,8830

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil perhitungan laju data pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa besarnya laju data dipengaruhi oleh modulasi yang digunakan. Semakin banyak *bit* per simbol yang dibawa pada masing-masing modulasi, maka semakin besar pula laju data yang diperoleh. Nilai laju data tertinggi diperoleh saat penggunaan teknik modulasi 64-QAM yang memiliki jumlah *bit* per simbol paling banyak.

- **Bandwidth sistem**

Nilai *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh nilai laju data, jumlah *subcarrier*, faktor *cyclic prefix*, dan kecepatan pengguna. Pada skripsi ini, pengguna diasumsikan

bergerak dengan kecepatan konstan, yaitu pada kecepatan 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam. Pergeseran frekuensi Doppler maksimum yang terjadi untuk kecepatan 3 km/jam dapat dihitung sesuai Persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$f_m(v) = \frac{v x f_c}{c}$$

$$f_m(3) = \frac{\left(\frac{3 \times 1000}{3600}\right) \times 2,6 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 7,2222 \text{ Hz}$$

Adanya pergerakan pengguna menyebabkan terjadinya pelebaran spektrum sinyal sesuai dengan nilai frekuensi doppler maksimum. Sehingga nilai *bandwidth* sistem dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.25) yang ditambahkan dengan pengaruh kecepatan pengguna. *Bandwidth* sistem untuk kecepatan pengguna = 3 km/jam dengan jumlah *subcarrier* 600 dan laju data menggunakan teknik modulasi QPSK= 14,4628 Mbps dengan M = 4, adalah:

$$B_{sistem} = \frac{R \cdot [2 \cdot (1 - \alpha_{cp}) + N - 1]}{(1 - \alpha_{cp}) \cdot N \cdot \log_2(M)} + f_m(3)$$

$$B_{sistem} = \frac{14,4628 \times 10^6 \times [2 \cdot (1 - 0,0729) + 600 - 1]}{(1 - 0,0729) \cdot 600 \cdot \log_2(4)} + 7,2222$$

$$= 7,8111 \text{ MHz}$$

Untuk teknik modulasi 16 QAM, terdapat kemungkinan sinyal (M) = 16 dan M = 64 untuk 64-QAM. Kemudian dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *bandwidth* sistem pada kanal teknik modulasi yang berbeda. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Bandwidth* Sistem

Teknik Modulasi	f _m (Hz)	Bandwidth Sistem (B _{sistem}) (MHz)		
		3 km/jam	50 km/jam	120 km/jam
QPSK	7,2222	7,8111	7,8112	7,8114
16-QAM	120,3704	7,8111	7,8112	7,8114
64-QAM	288,8888	7,8111	7,8112	7,8114

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil perhitungan *bandwidth* sistem pada Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa besarnya B_{sistem} tidak dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan, melainkan dipengaruhi oleh kecepatan pengguna. Nilai B_{sistem} terbesar diperoleh saat pengguna bergerak dengan kecepatan 120 km/jam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengguna akan menyebabkan *bandwidth* sistem semakin besar.

- **Redaman Propagasi**

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara *transmitter* dan *receiver* akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh *receiver* semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmision sinyal dari *transmitter* ke *receiver* maupun sebaliknya, baik pada kondisi *line of sight* (LOS) maupun *non-line of sight* (NLOS). Sistem komunikasi LTE bekerja pada kondisi NLOS.

Kondisi NLOS adalah kondisi dimana antara eNB dan UE terdapat penghalang sinyal seperti rumah, 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 pemancar ke penerima. Perhitungan redaman propagasi digunakan untuk mengetahui besarnya redaman yang terjadi selama proses pengiriman data dari pemancar ke penerima di dalam media transmisi. Pada kondisi NLOS, perhitungan ini disebut dengan *Path Loss* (PL). Untuk mempermudah proses analisis dan perhitungan, maka digunakan beberapa data sekunder seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.3 mengenai parameter perhitungan *link budget* untuk kanal *uplink* LTE. *Link budget* adalah perhitungan semua *gain* dari pemancar dan terima setelah melalui redaman di berbagai media transmisi hingga akhirnya diterima oleh *receiver* di dalam sebuah sistem telekomunikasi.

Tabel 4.3 Parameter *Link Budget Uplink* LTE

No	Parameter <i>Link Budget</i>	Nilai
<i>Transmitter (Evolved Node B)</i>		
1	<i>Total Tx Power</i> (Pt)	23 dBm
2	<i>Tx Antenna Gain</i> (Gt)	0 dBi
3	<i>Body Loss</i> (Lr)	0 dB
<i>Receiver (Pengguna Equipment)</i>		
1	<i>Node B Noise Figure</i> (NF)	2 dB
2	<i>Rx Antenna Gain</i> (Gr)	18 dBi
3	Cable loss	0 dB
4	<i>Fading Margin</i> (FM)	0 dB

(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)

Pada skripsi ini, SNR pada sistem SC-FDMA LTE akan dianalisis menggunakan model propagasi ECC 33 pada daerah *urban outdoor* dengan beberapa parameter penting, yaitu :

- Frekuensi *carrier* yang digunakan adalah 2600 MHz.
- Tinggi antena UE : 1,5 meter
- Tinggi Antena eNode-B : 80 meter
- Kanal *bandwidth* = 10 MHz.
- Jarak antara UE dan eNB divariasikan mulai dari 600 m – 1,4 km dengan spasi jarak sebesar 200 m.
- Temperatur operasi pada LTE yang digunakan adalah temperatur ruangan sebesar 300 K.
- UE dalam keadaan bergerak dengan kecepatan relatif konstan, yaitu 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam.

Perhitungan redaman propagasi pada kondisi NLOS dihitung dengan kondisi sistem bekerja pada frekuensi (f_c) = 2,6 GHz dan tinggi antena *transmitter* (h_b) = 80 m dan tinggi antena *receiver* (h_{ue}) = 1,5 m. Dengan menggunakan Persamaan (2.20) hingga (2.24), maka nilai redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak (d) = 0,6 km dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow A_{fs} &= 92,4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c) \\
 &= 92,4 + 20 \log_{10}(0,6) + 20 \log_{10}(2,6) \\
 &= 92,4 + (-4,4369) + 8,2995 \\
 &= 96,2625 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } A_{\text{bm}} &= 20,41 + 9,83 \log_{10}(d) + 7,894 \log_{10}(f_c) + 9,56 [\log_{10}(f_c)]^2 \\
 &= 20,41 + 9,83 \log_{10}(0,6) + 7,894 \log_{10}(2,6) + 9,56 [\log_{10}(2,6)]^2 \\
 &= 20,41 + (-2,1808) + 3,2758 + 1,6463 \\
 &= 23,1513 \text{ dB} \\
 \text{➤ } G_b &= \log_{10}\left(\frac{h_b}{200}\right) \{13,958 + 5,8 [\log_{10}(d)]^2\} \\
 &= \log_{10}\left(\frac{80}{200}\right) \{13,958 + 5,8 [\log_{10}(0,6)]^2\} \\
 &= (-0,3979) \times 14,2435 \\
 &= -5,6680 \\
 \text{➤ } G_r &= 0,759 h_{\text{ue}} - 1,862 \\
 &= 0,759 (1,5) - 1,862 \\
 &= -0,7235 \\
 \text{➤ } P_L(\text{dB}) &= A_{\text{fs}} + A_{\text{bm}} - G_b - G_r \\
 &= 96,2625 \text{ dB} + 23,1513 \text{ dB} - (-5,6680) - (-0,7235) \\
 &= 125,8053 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh besarnya redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak antara UE dan eNB sejauh 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Redaman Propagasi NLOS

Jarak (m)	Redaman Propagasi [$PL_{(\text{NLOS})}$ (dB)]
600	125,8053
800	129,4403
1000	132,3095
1200	134,6859
1400	136,7178

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Redaman 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* pada kanal *bandwidth* 10 MHz dengan jumlah *subcarrier* 600, adalah:

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

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai $L_t = 0$, $G_t = 0$, dan $L_r = 0$, sehingga :

$$P_r = 23 + 18 - 125,8053 - 10 \cdot \text{Log}_{10}(600)$$

$$P_r = -112,5868 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh besarnya daya terima pada kondisi NLOS pada kanal *bandwidth* 10 MHz yang divariasikan untuk jarak antara UE dan eNB sejauh 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Daya Terima pada Receiver

Jarak (m)	Daya Terima $P_{r(NLOS)}$ (dBm)
600	-112,5868
800	-116,2218
1000	-119,0910
1200	-121,4674
1400	-123,4993

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Setelah didapatkan nilai daya terima untuk variasi jarak antara UE dan eNB, maka selanjutnya adalah menghitung daya *noise*. Daya *noise* untuk jumlah *subcarrier* 600, kecepatan 3 km/jam dan *bandwidth* sistem sebesar 7,8111 MHz dapat dihitung melalui Persamaan (2.9):

$$\begin{aligned} \text{➤ } N_0 &= 10 \cdot \text{Log}_{10}(k \cdot T) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(B_{sistem}) + NF \\ N_0 &= 10 \cdot \text{Log}_{10}(1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \cdot \text{Log}_{10}(7,8111 \times 10^6) + 2 \\ N_0 &= -132,9029 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai SNR pada kondisi NLOS menggunakan nilai daya terima ($P_{r(NLOS)}$) sesuai pada Tabel 4.5 dan daya *noise* (N_0) sebesar -132,9029 dBm. Nilai SNR pada jarak 600 m untuk kondisi NLOS dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.18) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_0(dBm) \\ SNR_{(dB)} &= (-112,5868) - (-132,9029) \\ SNR_{(dB)} &= 20,3160 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } SNR_{(dB)} &= 10 \cdot \text{Log}_{10} (x) \\ 20,3160 &= 10 \cdot \text{Log}_{10} (x) \\ x &= 10^{2,03160} = 107,5483 \end{aligned}$$

Untuk nilai $SNR = 20,3160 \text{ dB} = 107,5483$ dan durasi $CP = 0,0729$, dapat diperoleh nilai SNR sistem SC-FDMA dengan Persamaan (2.27) berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{CP})SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0,0729) \times 107,5483 \\ SNR_{sistem} &= 99,7080 \\ \text{➤ } SNR_{sistem(dB)} &= 19,9873 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai SNR untuk sistem antenna jamak dilakukan menggunakan Persamaan (2.28) pada jarak 600 m dan kecepatan 3 km/jam menggunakan nilai SNR sistem sebesar 19,9873 dB. Nilai SNR pada SISO, SIMO 1x2, dan SIMO 1x4 pada jarak 600 m untuk kecepatan 3 km/jam, dapat dihitung seperti berikut :

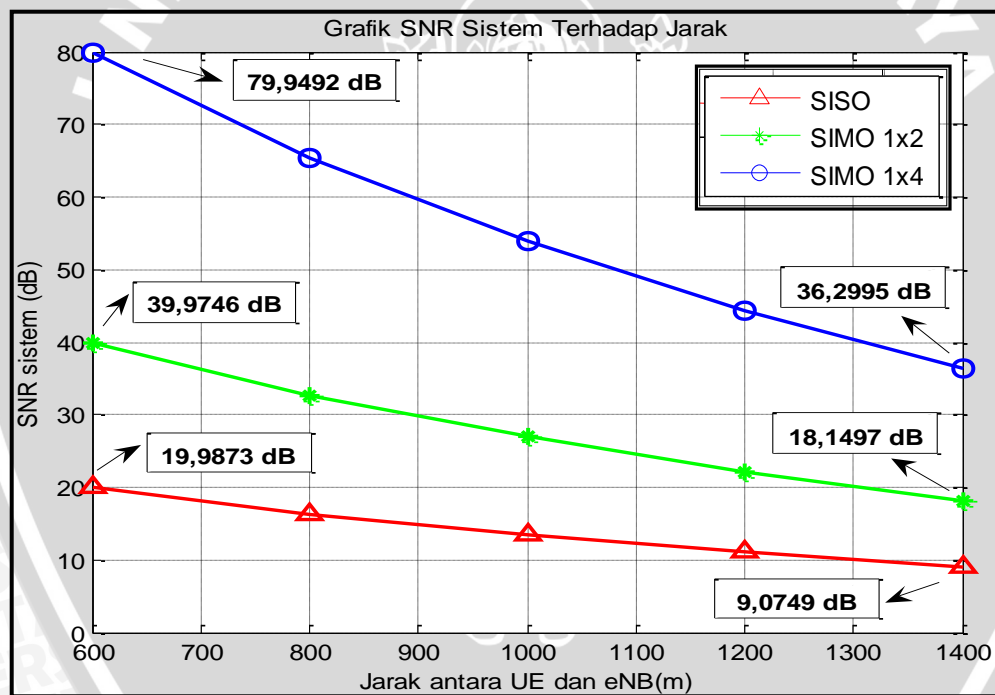
$$\begin{aligned} \text{➤ } SNR_{SISO} &= N \times SNR_{sistem} \\ &= 1 \times 19,9873 = 19,9873 \text{ dB} \\ \text{➤ } SNR_{SIMO \ 1x2} &= N \times SNR_{sistem} \\ &= 2 \times 19,9873 = 39,9746 \text{ dB} \\ \text{➤ } SNR_{SIMO \ 1x4} &= N \times SNR_{sistem} \\ &= 4 \times 19,9873 = 79,9492 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem antenna jamak pada kondisi NLOS untuk kecepatan 3 km/jam, 50 km/jam, 120 km/jam untuk jarak UE dan eNB yaitu 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.6.

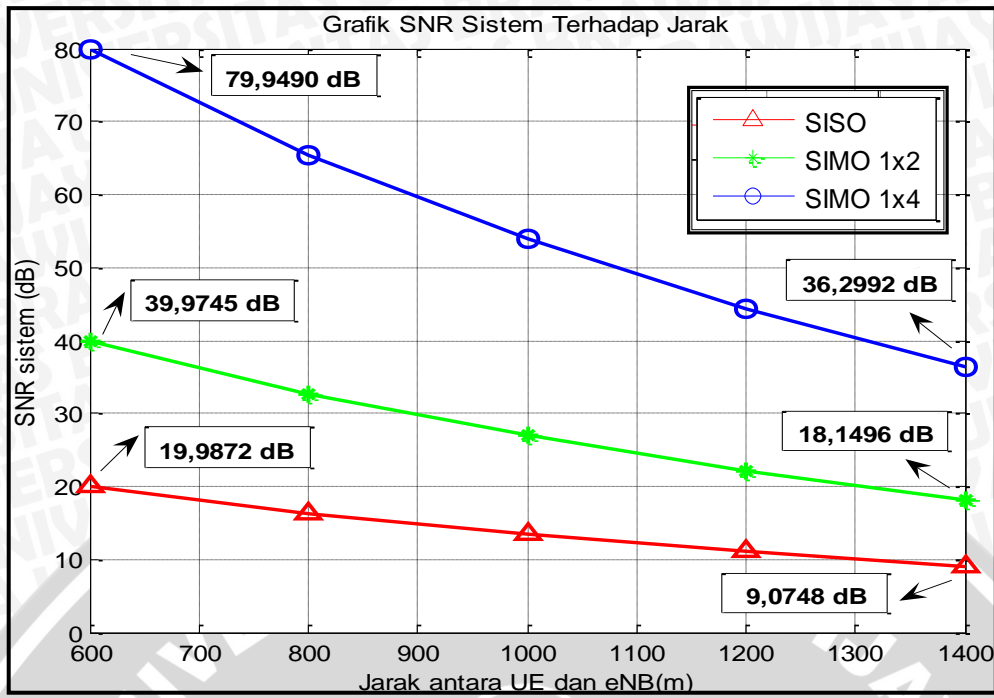
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan SNR Sistem Antena Jamak

Teknik multi antenna	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Kecepatan (km/jam)	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Jarak (m)	<i>Signal to Noise Ratio (SNR) (dB)</i>								
600	19,9873	19,9872	19,9871	39,9746	39,9745	39,9743	79,9492	79,9490	79,9486
800	16,3523	16,3522	16,3521	32,7046	32,7045	32,7043	65,4092	65,4089	65,4086
1000	13,4831	13,4831	13,4830	26,9663	26,9662	26,9660	53,9326	53,9323	53,9320
1200	11,1067	11,1066	11,1065	22,2134	22,2133	22,2131	44,4268	44,4266	44,4262
1400	9,0749	9,0748	9,0747	18,1497	18,1496	18,1494	36,2995	36,2992	36,2988

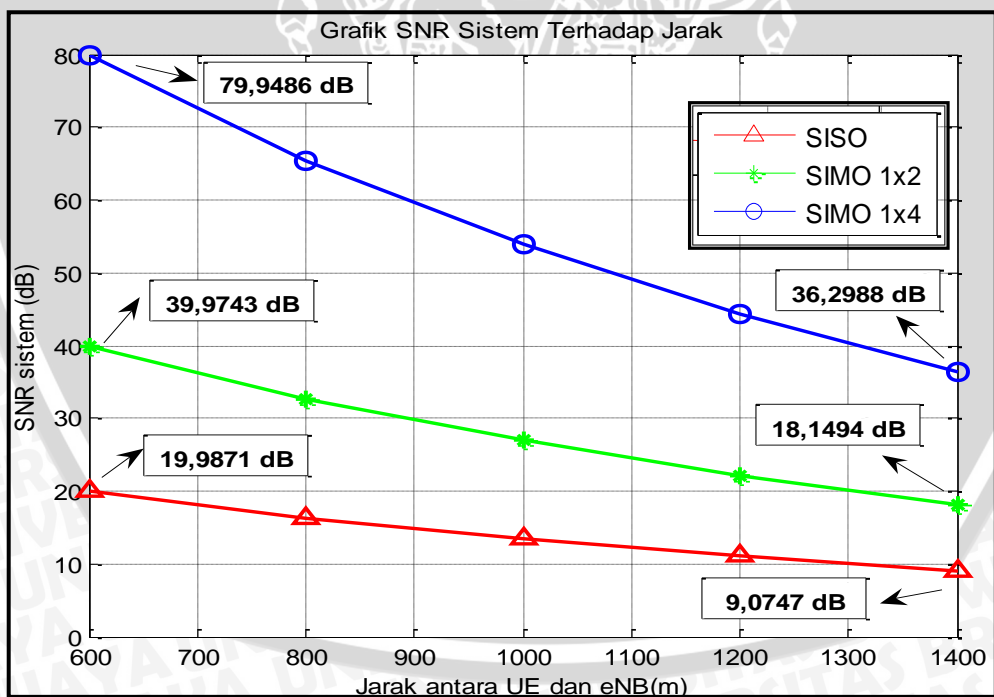
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

**Gambar 4.1** Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam

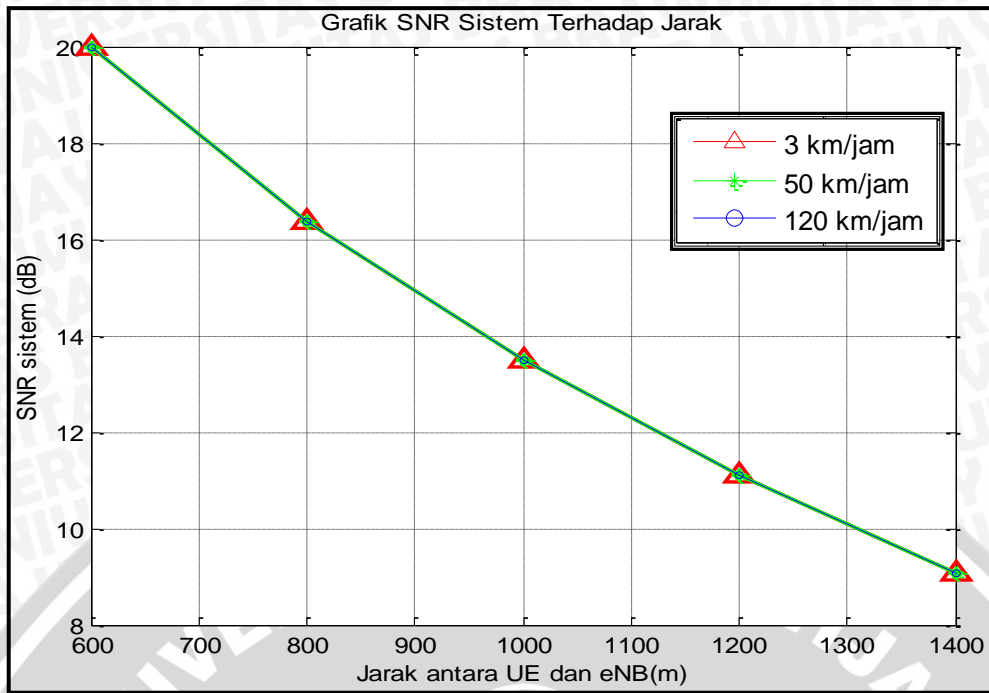
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



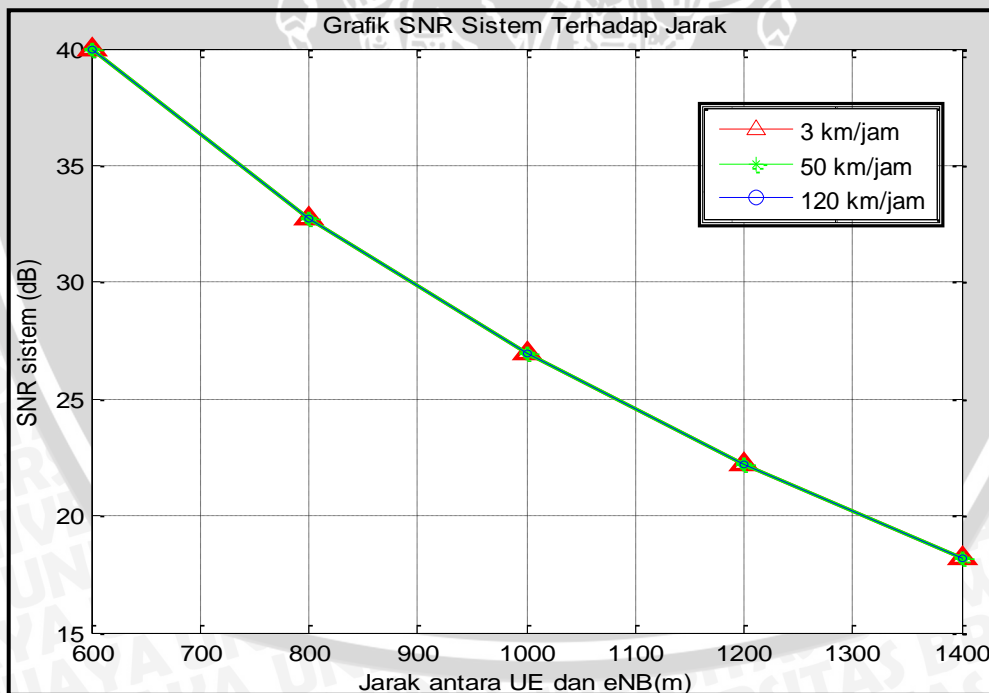
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan pengguna 50 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



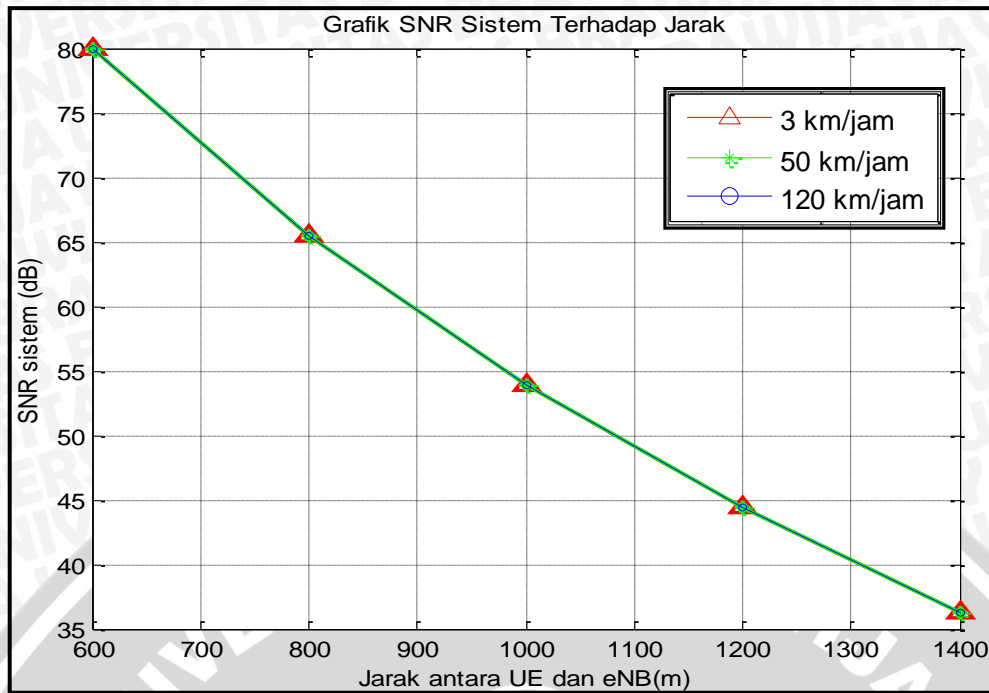
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan pengguna 120 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SISO
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x2
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap SNR Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk SIMO 1x4
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

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

1. Nilai SNR sistem dipengaruhi oleh besarnya daya terima pada *receiver* yang dipengaruhi oleh jarak antara UE dan eNode-B. Semakin jauh jarak antara UE dan eNB, maka nilai SNR sistem akan semakin kecil.
2. Semakin tinggi kecepatan pengguna menyebabkan *bandwidth* sistem semakin besar. Saat *bandwidth* sistem semakin besar, daya *noise* akan semakin besar pula sehingga nilai SNR sistem akan semakin kecil. Namun perubahan nilai SNR sistem terhadap kecepatan pengguna tidak terlalu besar, hal ini dikarenakan nilai pelebaran spektrum sinyal jauh lebih kecil daripada *bandwidth* sistem tanpa pengaruh kecepatan.
3. Pada kecepatan dan jarak yang sama, semakin banyak jumlah antena penerima maka nilai SNR sistem akan semakin besar.
4. Nilai SNR tertinggi didapatkan pada penggunaan SIMO 1x4 kecepatan 3 km/jam jarak 600 meter = 79,9492 dB.

4.2.2 Analisis Pengaruh SIMO Terhadap *Bit Error Rate* (BER) Sistem LTE

BER atau probabilitas *bit error* adalah banyaknya *bit* yang salah ketika sejumlah *bit* ditransmisikan dari titik asal ke titik tujuan. Pada analisis ini akan dihitung nilai BER dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Perhitungan BER membutuhkan parameter laju data, *bandwidth* sistem, SNR sistem, dan E_b/N_o .

E_b/N_o dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* dan digunakan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital.

Perhitungan E_b/N_o pada kanal *fading* untuk jarak 600 m dan kecepatan 3 km/jam dengan sistem antena jamak dan teknik modulasi QPSK, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.29). Nilai SNR sistem kondisi NLOS sesuai pada Tabel 4.6, untuk kecepatan 3 km/jam dengan *bandwidth* sistem sebesar 7, 8111 MHz, dan laju data sebesar 14,4628 MHz, seperti berikut :

$$\begin{aligned} \triangleright \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SISO} &= SNR_{SISO} + 10 \cdot \log_{10} \frac{B_{sistem}}{R} \\ &= 19,9873 + 10 \cdot \log_{10} \frac{7,8111 \times 10^6}{14,4628 \times 10^6} = 17,3119 \text{ dB} \\ \triangleright \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SIMO \ 1 \times 2} &= SNR_{SIMO \ 1 \times 2} + 10 \cdot \log_{10} \frac{B_{sistem}}{R} \\ &= 39,9746 + 10 \cdot \log_{10} \frac{7,8111 \times 10^6}{14,4628 \times 10^6} = 37,2992 \text{ dB} \\ \triangleright \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SIMO \ 1 \times 4} &= SNR_{SIMO \ 1 \times 4} + 10 \cdot \log_{10} \frac{B_{sistem}}{R} \\ &= 79,9492 + 10 \cdot \log_{10} \frac{7,8111 \times 10^6}{14,4628 \times 10^6} = 77,2738 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh nilai E_b/N_o sistem antena jamak pada kanal *fading* kondisi NLOS dengan kecepatan 3 km/jam, 50 km/jam, 120 km/jam untuk jarak UE dan eNB yaitu 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi QPSK

Teknik Modulasi	QPSK								
Teknik antena jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
Kecepatan (km/jam)	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o)(dB)</i>								
600	17,3119	17,3119	17,3119	37,2992	37,29915	37,29906	77,2738	77,27365	77,27336
800	13,6769	13,6769	13,6769	30,0292	30,02915	30,02906	62,7338	62,73355	62,73336
1000	10,8078	10,8078	10,8078	24,2909	24,29085	24,29076	51,2572	51,25695	51,25676
1200	8,4313	8,4313	8,4313	19,538	19,53795	19,53786	41,7514	41,75125	41,75096
1400	6,3995	6,3995	6,3995	15,4743	15,47425	15,47416	33,6241	33,62385	33,62356

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi 16-QAM

Teknik Modulasi	16-QAM								
Teknik antena jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
Kecepatan (km/jam)	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o)(dB)</i>								
600	14,3016	14,3016	14,3016	34,28891	34,28887	34,28878	74,26351	74,26337	74,26308
800	10,6666	10,6666	10,6666	27,01891	27,01887	27,01878	59,72351	59,72327	59,72308
1000	7,7975	7,7975	7,7975	21,28061	21,28057	21,28048	48,24691	48,24667	48,24648
1200	5,4210	5,4210	5,4210	16,52771	16,52767	16,52758	38,74111	38,74097	38,74068
1400	3,3892	3,3892	3,3892	12,46401	12,46397	12,46388	30,61381	30,61357	30,61328

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan E_b/N_o Sistem Antena Jamak dengan Teknik Modulasi 64-QAM

Teknik Modulasi	64-QAM								
Teknik antena jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
Kecepatan (km/jam)	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o)(dB)</i>								
600	12,5407	12,5407	12,5407	32,528	32,5279	32,5278	72,5026	72,50245	72,50216
800	8,9057	8,9057	8,9057	25,258	25,2579	25,2578	57,9626	57,96235	57,96216
1000	6,0366	6,0366	6,0366	19,5197	19,5196	19,5195	46,486	46,48575	46,48556
1200	3,6601	3,6601	3,6601	14,7668	14,7667	14,7666	36,9802	36,98005	36,97976
1400	1,6283	1,6283	1,6283	10,7031	10,7030	10,7029	28,8529	28,85265	28,85236

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 dapat disimpulkan bahwa nilai E_b/N_o dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan. Teknik modulasi yang digunakan menentukan nilai laju data, yang mana modulasi 64-QAM menghasilkan laju data tertinggi dibandingkan QPSK dan 16-QAM. Semakin tinggi laju data akan mengurangi nilai E_b/N_o . Hal inilah yang menyebabkan nilai E_b/N_o tertinggi didapatkan saat menggunakan teknik modulasi QPSK. Selain itu, kecepatan pengguna serta jarak antara UE dan eNB juga mempengaruhi nilai E_b/N_o . Nilai E_b/N_o akan semakin menurun saat jarak antara UE dan eNB semakin jauh serta kecepatan pengguna semakin tinggi. Kecuali pada penggunaan teknik antena jamak SISO. Pada sistem SISO, kecepatan pengguna tidak mempengaruhi nilai E_b/N_o . Hal ini dikarenakan perubahan kecepatan pengguna, dari 3 km/jam ke 50 km/jam, hanya sedikit mempengaruhi nilai SNR sistem, yaitu sekitar 0,0001 dB (untuk tiap perubahan kecepatan, yaitu dari 3 km/jam ke 50 km/jam maupun dari 50 km/jam ke 120 km/jam).

Setelah didapatkannya nilai E_b/N_o , maka perhitungan BER dapat dilakukan sesuai dengan Persamaan (2.30), (2.31), dan (2.32) yang mana perhitungan BER tergantung dari jenis modulasi yang digunakan. *Bit Error Rate* (BER) diharapkan memiliki nilai yang sekecil mungkin agar diperoleh kualitas sinyal yang baik. Oleh karena itu, BER sistem tergantung pada ukuran kualitas sinyal (SNR_{sistem}) yang diterima.

Nilai BER sistem SISO, SIMO 1x2, SIMO 1x4 pada jarak 600 m dengan kecepatan 3 km/jam dan E_b/N_0 sesuai dengan Tabel 4.7 hingga Tabel 4.9, dapat dihitung dengan Persamaan (2.30), (2.31), dan (2.32):

1) Modulasi QPSK,

$$\begin{aligned} \triangleright P_{b,QPSK(SISO)} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(E_b/N_0)_{SISO}}}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{17,3119}}} \right] \\ &= 0,0130 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright P_{b,QPSK(SIMO\ 1x2)} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(E_b/N_0)_{SIMO\ 1x2}}}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{37,2992}}} \right] \\ &= 0,0062 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright P_{b,QPSK(SIMO\ 1x4)} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(E_b/N_0)_{SIMO\ 1x4}}}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{77,2738}}} \right] \\ &= 0,0030 \end{aligned}$$

2) Modulasi 16-QAM

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,16-QAM(SISO)} &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_0)_{SISO}}}} \right] \\
 &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2 \times 14,3016}}} \right] \\
 &= 0,0271
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,16-QAM(SIMO 1x2)} &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_0)_{SIMO 1x2}}}} \right] \\
 &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2 \times 34,28891}}} \right] \\
 &= 0,0122
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,16-QAM(SIMO 1x4)} &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_0)_{SIMO 1x4}}}} \right] \\
 &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2 \times 74,26351}}} \right] \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

3) Modulasi 64-QAM,

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,64-QAM(SISO)} &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{(E_b/N_0)_{SISO}}}} \right] \\
 &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{12,5407}}} \right] \\
 &= 0,0544
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,64-QAM(SIMO\ 1x2)} &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{(E_b/N_0)_{SIMO\ 1x2}}}} \right] \\
 &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{32,528}}} \right] \\
 &= 0,0255
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \triangleright P_{b,64-QAM(SIMO\ 1x4)} &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{(E_b/N_0)_{SIMO\ 1x4}}}} \right] \\
 &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{72,5026}}} \right] \\
 &= 0,0124
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan eNB yaitu 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m, akan diperoleh nilai P_b pada teknik antena jamak untuk kecepatan 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/jam, seperti pada Tabel 4.10, Tabel 4.11, dan Tabel 4.12.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam

Teknik Antena Jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
Kecepatan	3 km/jam								
Jarak (m)	P_b (Bit Error Rate)								
600	0,0130	0,0271	0,0544	0,0062	0,0122	0,0255	0,0030	0,0058	0,0124
800	0,0168	0,0361	0,0710	0,0079	0,0157	0,0326	0,0038	0,0074	0,0157
1000	0,0216	0,0487	0,0932	0,0100	0,0203	0,0414	0,0048	0,0094	0,0198
1200	0,0283	0,0681	0,1264	0,0128	0,0265	0,0533	0,0061	0,0120	0,0251
1400	0,0384	0,1033	0,1884	0,0167	0,0359	0,0706	0,0078	0,0156	0,0324

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam

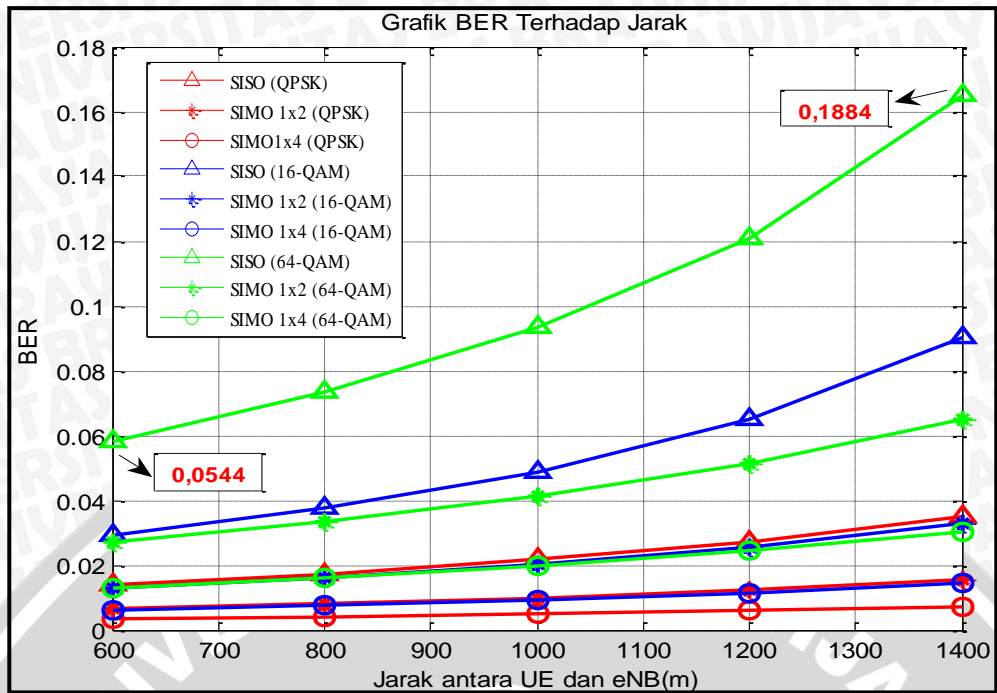
Teknik Antena Jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
Kecepatan	50 km/jam								
Jarak (m)	P_b (Bit Error Rate)								
600	0,0130	0,0271	0,0544	0,0062	0,0122	0,0255	0,0030	0,0058	0,0124
800	0,0168	0,0361	0,0710	0,0079	0,0157	0,0326	0,0038	0,0074	0,0157
1000	0,0216	0,0487	0,0932	0,0100	0,0203	0,0414	0,0048	0,0094	0,0198
1200	0,0283	0,0681	0,1264	0,0128	0,0265	0,0533	0,0061	0,0120	0,0251
1400	0,0384	0,1033	0,1884	0,0167	0,0359	0,0706	0,0078	0,0156	0,0324

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

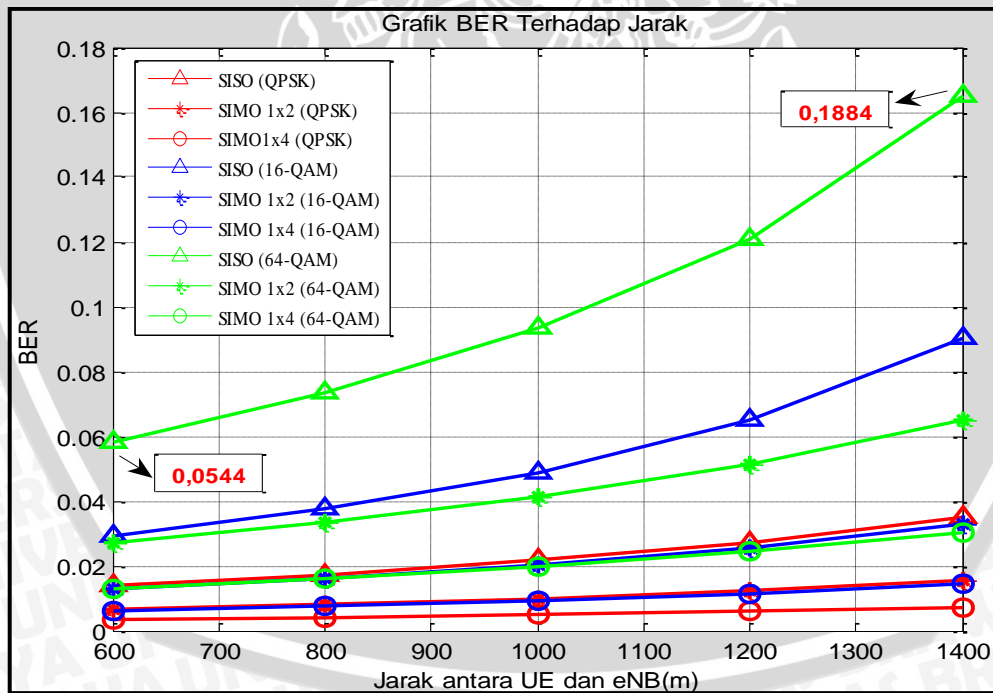
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan BER Sistem Antena Jamak untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam

Teknik Antena Jamak	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
Kecepatan	120 km/jam								
Jarak (m)	P_b (Bit Error Rate)								
600	0,0130	0,0271	0,0544	0,0062	0,0122	0,0255	0,0030	0,0058	0,0124
800	0,0168	0,0361	0,0710	0,0079	0,0157	0,0326	0,0038	0,0074	0,0157
1000	0,0216	0,0487	0,0932	0,0100	0,0203	0,0414	0,0048	0,0094	0,0198
1200	0,0283	0,0681	0,1264	0,0128	0,0265	0,0533	0,0061	0,0120	0,0251
1400	0,0384	0,1033	0,1884	0,0167	0,0359	0,0706	0,0078	0,0156	0,0324

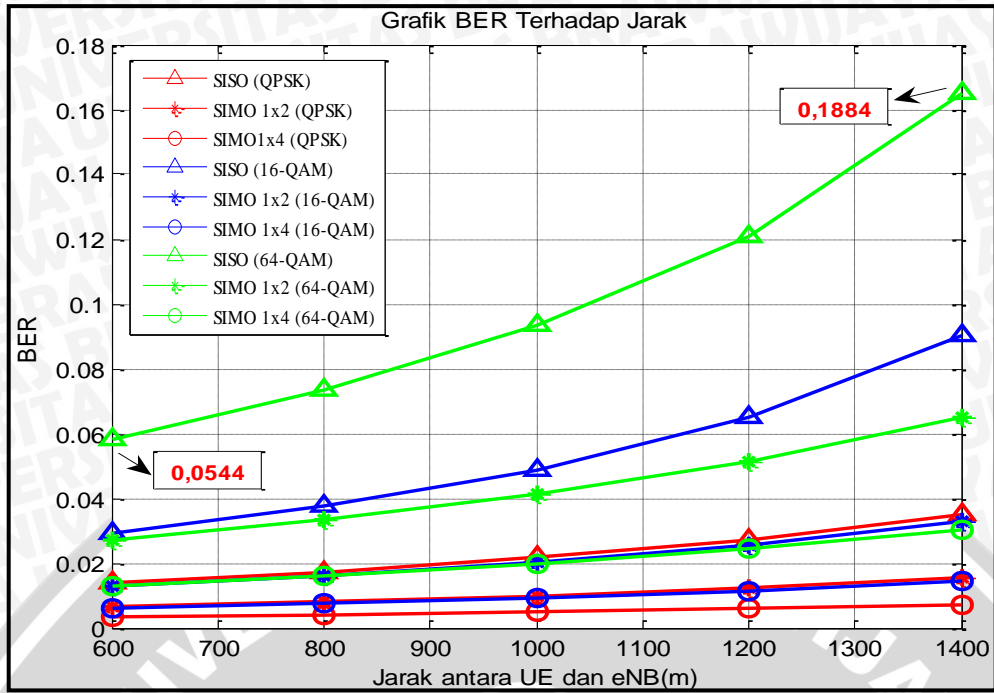
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



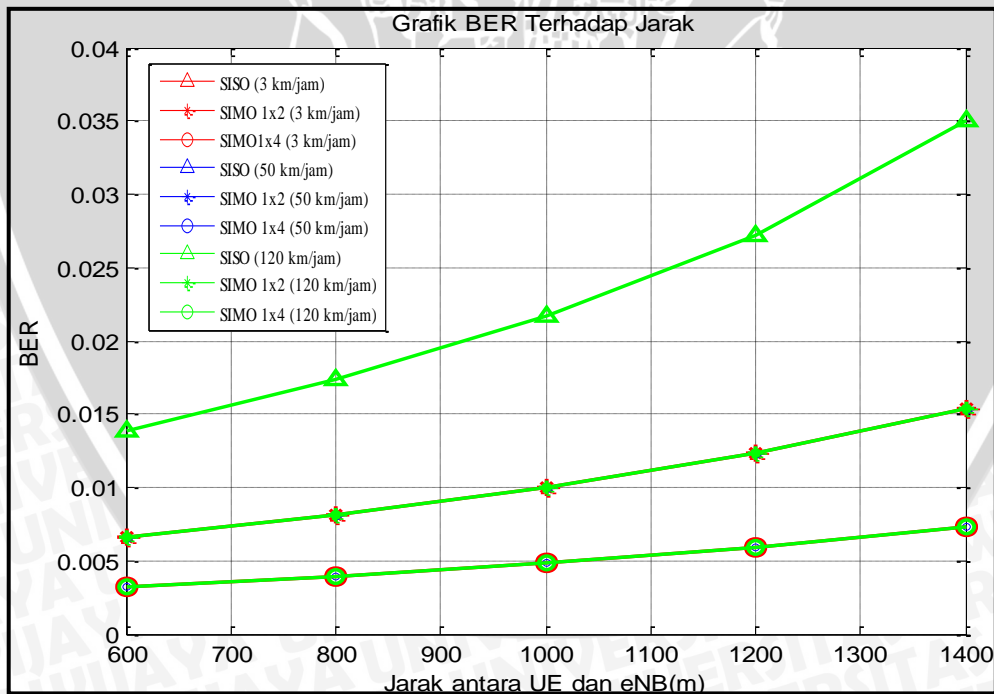
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



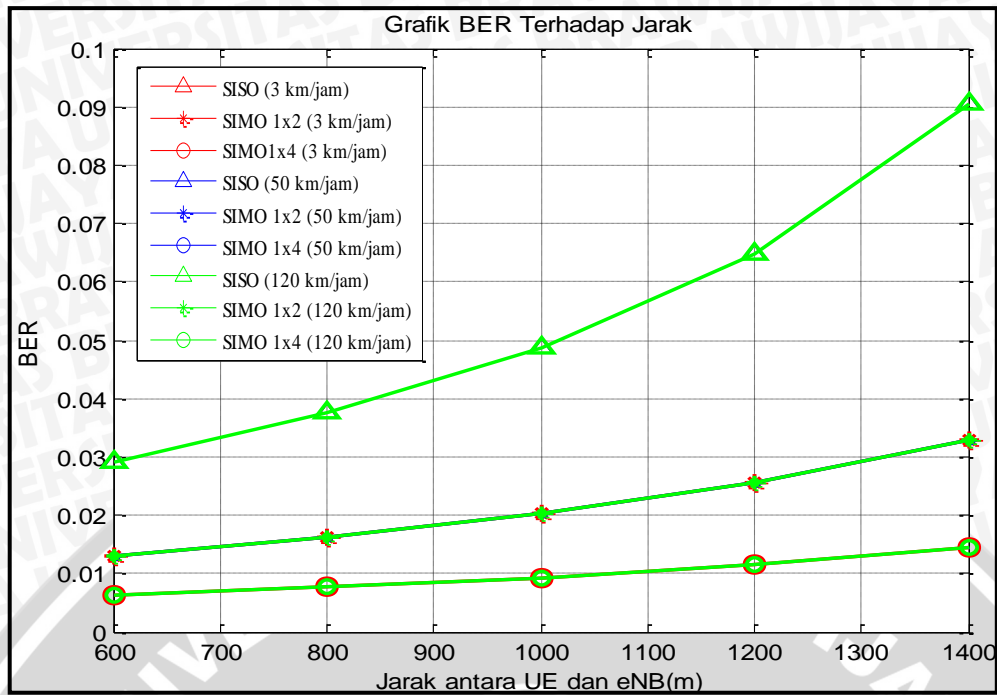
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



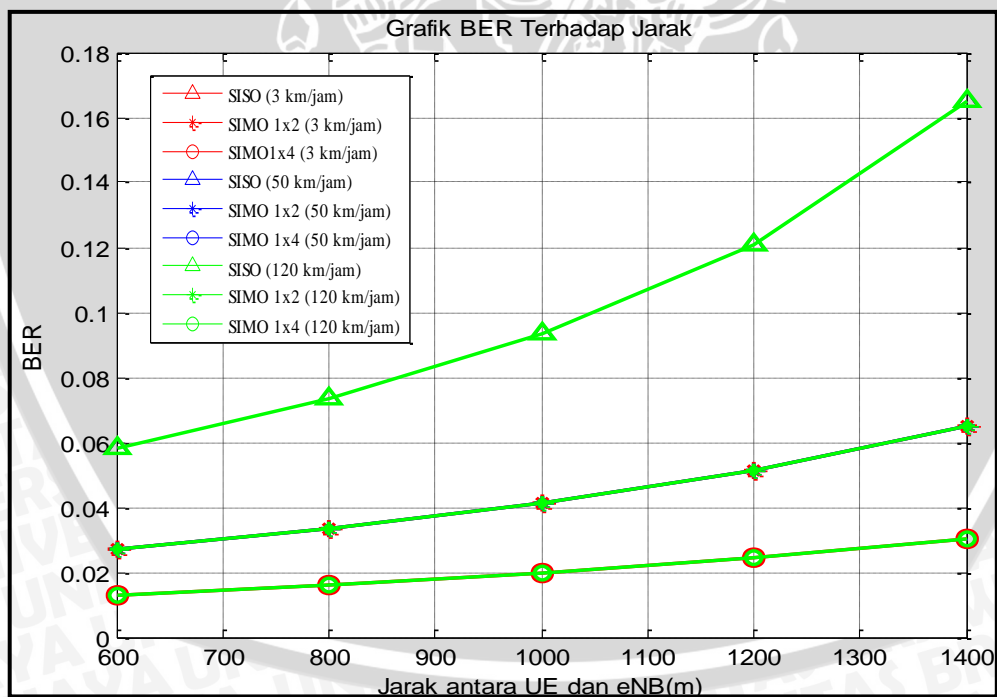
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi QPSK
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi 16-QAM
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap BER Sistem pada Jarak yang Berbeda untuk Modulasi 64-QAM
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil perhitungan BER, dapat diketahui bahwa:

1. Semakin jauh jarak antara eNB dan UE akan meningkatkan nilai BER, karena semakin jauh jarak antara eNB dan UE akan mengakibatkan daya terima pada *receiver* berkurang.
2. Untuk tiap perubahan kecepatan pengguna, yaitu 3 km/jam, 50 km/jam, dan 120 km/ jam tidak terjadi perubahan nilai BER.
3. Perbedaan jenis modulasi akan mempengaruhi nilai BER suatu sistem. Penggunaan teknik modulasi 64-QAM akan menghasilkan nilai BER paling besar. Hal ini dikarenakan penggunaan teknik modulasi 64-QAM akan menghasilkan laju data paling tinggi dibandingkan dengan QPSK dan 16-QAM. Semakin cepat suatu data ditransmisikan, nilai E_b/N_0 akan semakin kecil. Begitu pula dengan besarnya BER yang akan mengalami kenaikan seiring bertambahnya laju data.
4. Semakin banyak jumlah antena penerima akan mengurangi nilai BER. Nilai BER yang paling kecil adalah ketika penggunaan SIMO 1x4. Pada SIMO 1x4 daya sinyal yang ditransmisikan tidak terbagi karena hanya menggunakan 1 antena pada pemancar, kemudian pada penerima sinyal-sinyal ini dijumlahkan sehingga dayanya mengalami peningkatan sebanyak jumlah antena yang digunakan. Sehingga nilai SNR akan semakin besar dan BER sistem semakin kecil.
5. Sistem yang paling baik adalah dengan nilai BER terendah, yaitu pada penggunaan SIMO 1x4, jarak 600 meter dengan modulasi QPSK= 0,0030.

4.2.3 Analisis Pengaruh SIMO Terhadap Kapasitas Kanal Sistem LTE

Kapasitas kanal sistem merupakan sejumlah data yang dapat ditransmisikan dalam satu detik yang dinyatakan dalam satuan *bits per second* (bps). Perhitungan analisis kapasitas kanal sistem antena jamak menggunakan teorema Shannon yang terdapat pada Persamaan (2.33). Untuk memperoleh kapasitas kanal sistem maka dibutuhkan parameter SNR_{sistem} yang terdapat pada Tabel 4.6.

Kapasitas kanal sistem antena jamak dengan kecepatan 3 km/jam, $B_{sistem} = 7,8111$ MHz, dan $SNR_{SISO} = 19,9873$ dB pada jarak 600 m, dihitung menggunakan Persamaan (2.33) sebagai berikut :

- $SNR_{SISO}(dB) = 10 \cdot \log_{10}(x)$
 $19,9873 = 10 \cdot \log_{10}(x)$
 $x = 10^{1,99873} = 99,7080$

$$\begin{aligned}
 C_{SISO} &= B_{sistem} \log_2(1 + SNR_{SISO}) \\
 &= 7,8111 \cdot \text{Log}_2(1 + 99,7080) \\
 &= 51,9754 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 SNR_{SIMO\ 1x2}(\text{dB}) &= 10 \cdot \log_{10}(x) \\
 39,9746 &= 10 \cdot \log_{10}(x) \\
 x &= 10^{3,99746} = 9,9417 \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{SIMO\ 1x2} &= B_{sistem} \log_2(1 + SNR_{SIMO\ 1x2}) \\
 &= 7,8111 \cdot \text{Log}_2(1 + 9,9417 \times 10^3) \\
 &= 103,7270 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 SNR_{SIMO\ 1x4}(\text{dB}) &= 10 \cdot \log_{10}(x) \\
 79,9492 &= 10 \cdot \log_{10}(x) \\
 x &= 10^{7,99492} = 9,8837 \times 10^7
 \end{aligned}$$

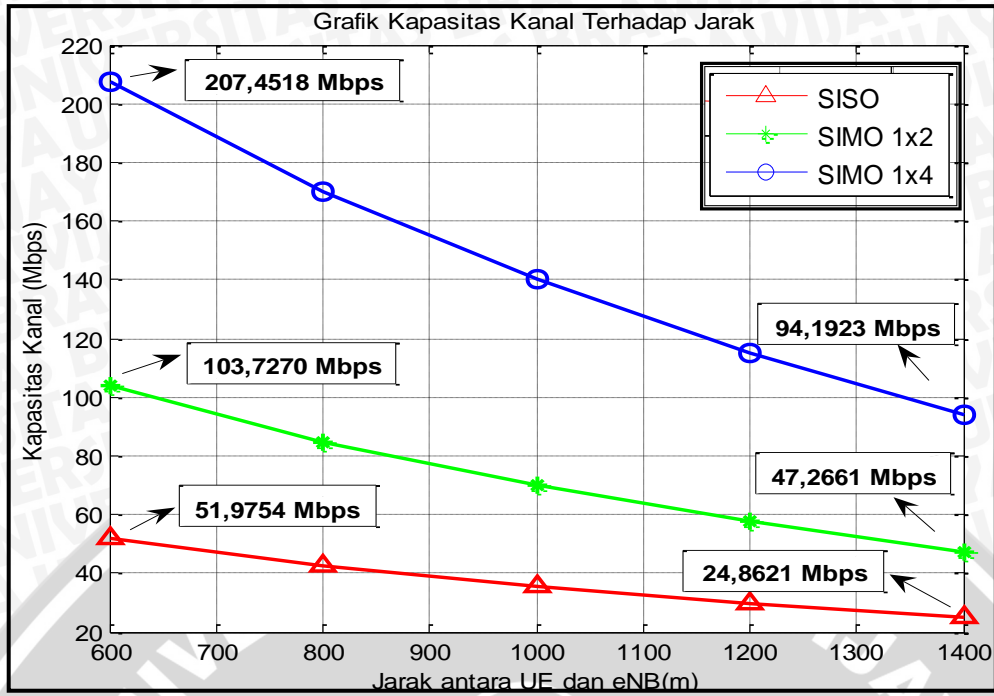
$$\begin{aligned}
 C_{SIMO\ 1x4} &= B_{sistem} \log_2(1 + SNR_{SIMO\ 1x4}) \\
 &= 7,8111 \cdot \text{Log}_2(1 + 9,8837 \times 10^7) \\
 &= 207,4518 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh nilai kapasitas kanal sistem antena jamak pada kondisi NLOS untuk kecepatan 3 km/jam, 50 km/jam, 120 km/jam untuk jarak UE dan eNB yaitu 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, dan 1400 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.13.

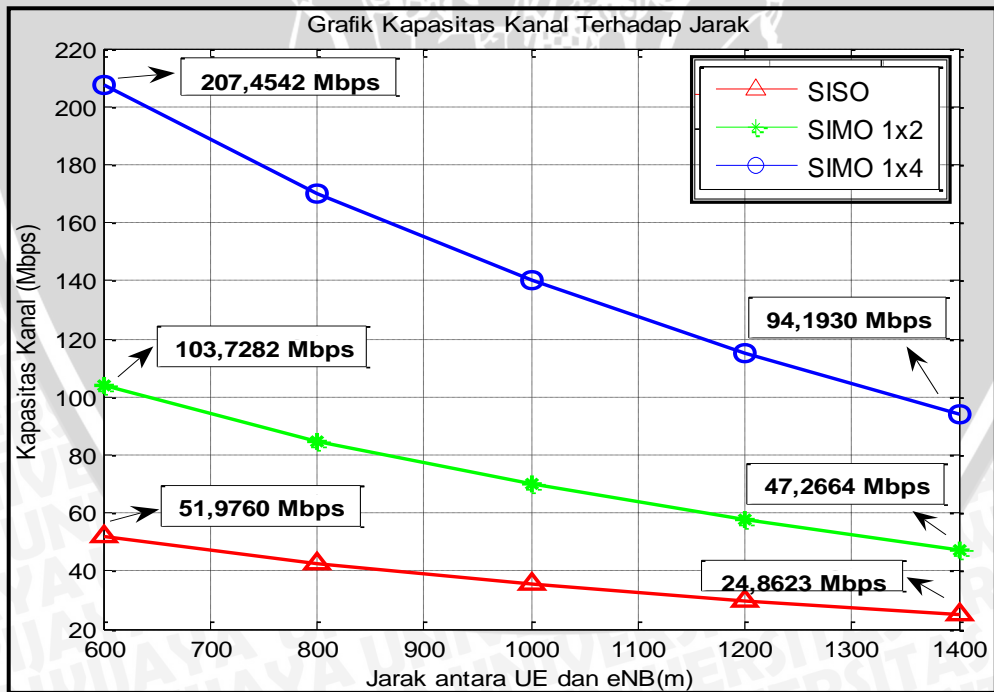
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Sistem Antena Jamak

Teknik multi antena	SISO			SIMO 1x2			SIMO 1x4		
	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Kecepatan (km/jam)	3	50	120	3	50	120	3	50	120
Jarak (m)	Kapasitas Kanal (Mbps)								
600	51,9754	51,9760	51,9769	103,7270	103,7282	103,7300	207,4518	207,4542	207,4577
800	42,6889	42,6894	42,6900	84,8678	84,8687	84,8700	169,7235	169,7253	169,7280
1000	35,4803	35,4807	35,4812	69,9947	69,9953	69,9964	139,9441	139,9455	139,9475
1200	29,6608	29,6611	29,6615	57,7067	57,7072	57,7080	115,2789	115,2799	115,2814
1400	24,8621	24,8623	24,8626	47,2661	47,2664	47,2670	94,1923	94,1930	94,1941

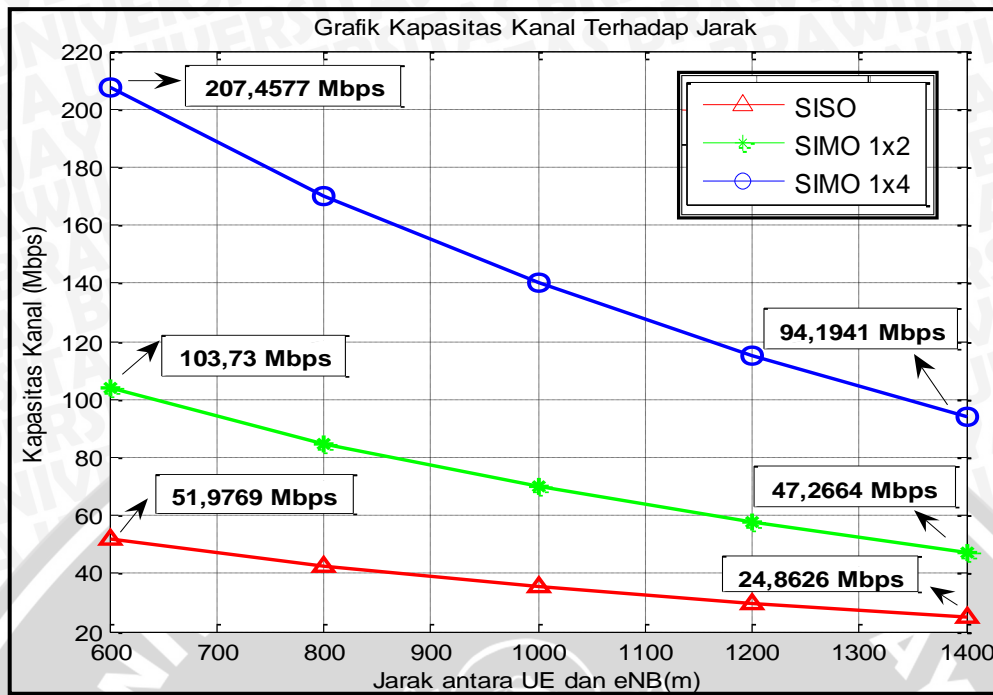
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



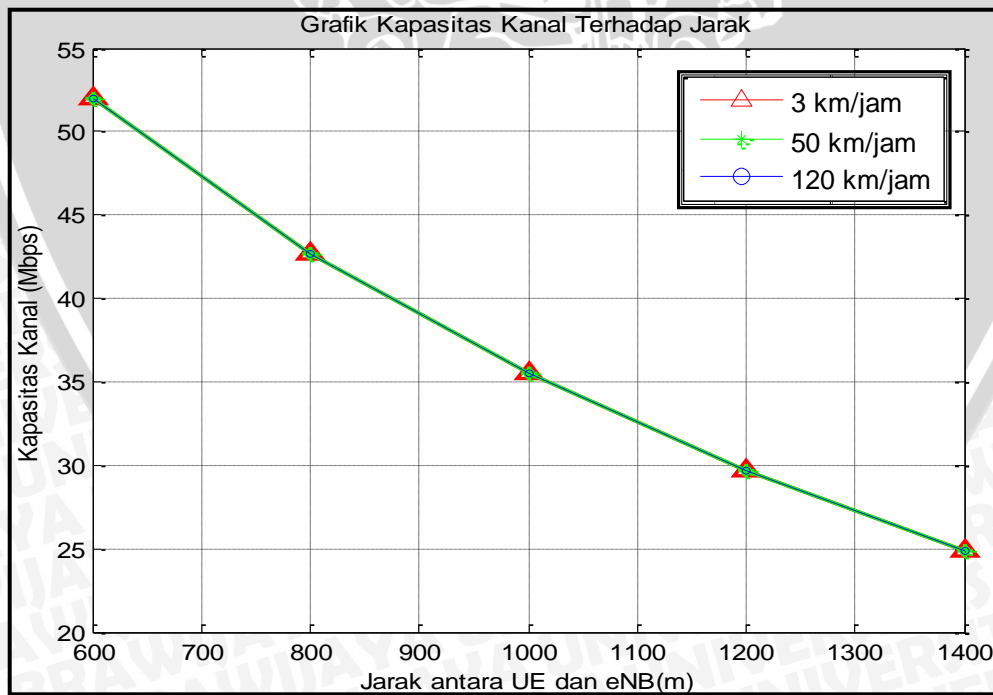
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



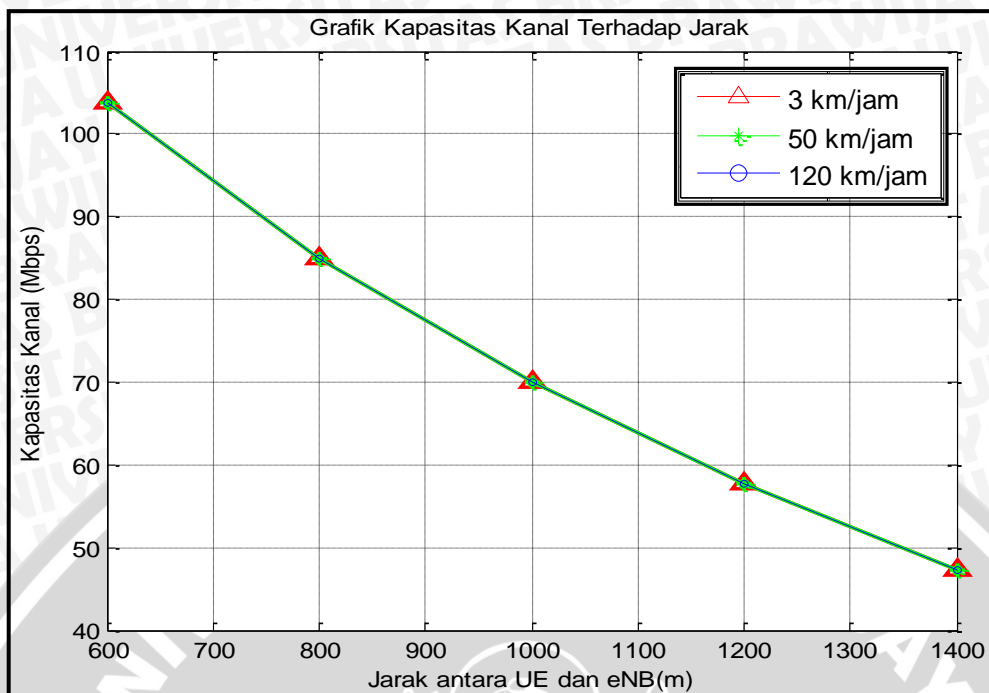
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 50 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



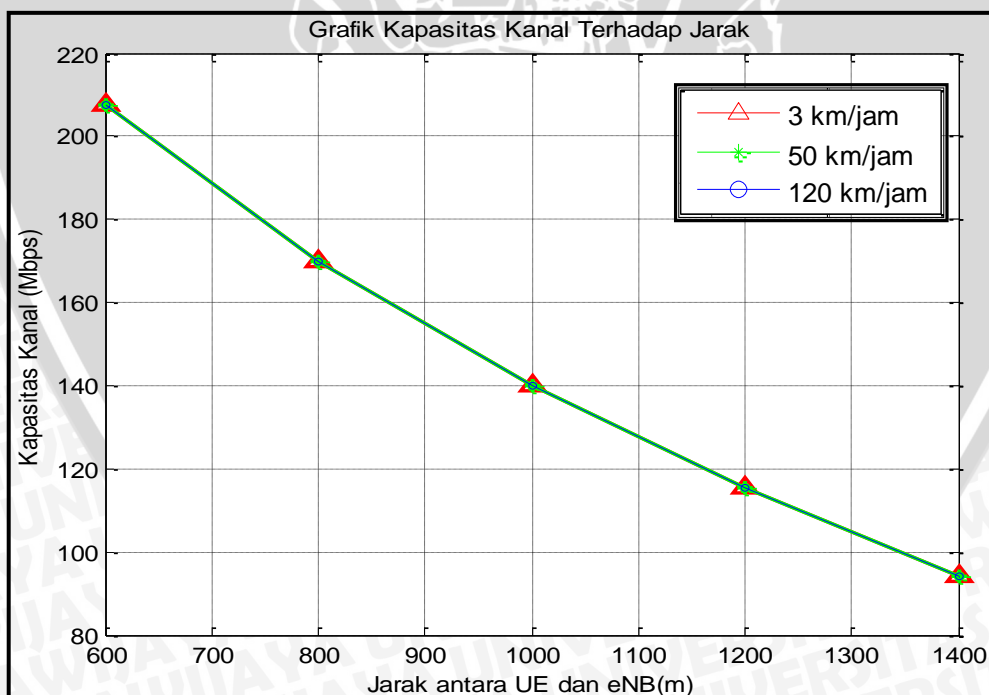
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Penggunaan Teknik Antena Jamak terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Penggunaan Antena Jamak SISO terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Penggunaan Antena Jamak SIMO 1x2 terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)



Gambar 4.18 Grafik Pengaruh Penggunaan Antena Jamak SIMO 1x4 terhadap Kapasitas Kanal pada Jarak yang Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan perhitungan kapasitas kanal yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa:

1. Nilai kapasitas kanal sistem dipengaruhi oleh SNR sistem dan juga *bandwidth* sistem. Saat nilai SNR sistem menurun, dengan nilai *bandwidth* sistem tetap, besarnya kapasitas kanal juga menurun. Begitu pula saat *bandwidth* sistem berkurang, dengan nilai SNR sistem tetap, maka besarnya kapasitas kanal juga menurun.
2. Besarnya kecepatan pengguna mempengaruhi nilai kapasitas kanal sistem. Semakin tinggi kecepatan pengguna akan meningkatkan *bandwidth* sistem namun mengurangi SNR sistem. Pada sistem ini, kecepatan pengguna tidak memberikan pengaruh dominan terhadap perubahan SNR. Sehingga nilai kapasitas kanal lebih dipengaruhi oleh *bandwidth* sistem, yang mana *bandwidth* sistem akan semakin besar saat kecepatan pengguna semakin tinggi. Hal inilah yang menyebabkan nilai kapasitas kanal akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan pengguna.
3. Kapasitas kanal dipengaruhi oleh jarak antara eNB dan UE. Semakin besar jarak antara eNB dan UE menyebabkan nilai SNR akan semakin kecil. Sehingga saat jarak antara eNB dan UE semakin besar, pada teknik antena jamak yang sama, nilai kapasitas kanal sistem akan semakin kecil. Contohnya untuk kecepatan yang sama, yaitu 3 km/jam penggunaan SIMO 1x4, nilai kapasitas kanal sistem terkecil yaitu pada jarak 1400 m sebesar 94,1923 Mbps dan nilai kapasitas kanal sistem terbesar yaitu pada jarak 600 m sebesar 207,4518 Mbps.
4. Semakin banyak jumlah antena penerima, yaitu dari SISO sampai SIMO 1x4, nilai SNR sistem akan semakin besar sehingga meningkatkan kapasitas kanal sistem. Contohnya pada jarak dan kecepatan yang sama yaitu 600 m dan 3 km/jam, nilai kapasitas kanal sistem terkecil yaitu dengan penggunaan SISO sebesar 51,9754 Mbps dan nilai kapasitas kanal sistem terbesar yaitu dengan penggunaan SIMO 1x4 sebesar 207,4518 Mbps.
5. Nilai kapasitas kanal yang paling besar, yaitu 207,4577 Mbps didapatkan saat sistem menggunakan teknik antena jamak SIMO 1x4 untuk jarak 600 meter saat pengguna bergerak dengan kecepatan 120 km/jam.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis tentang pengaruh penggunaan *Single Input Multiple Output* (SIMO) terhadap kinerja *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada *Long Term Evolution* (LTE), maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis SNR sistem LTE dengan penggunaan SISO, SIMO 1x2, dan SIMO 1x4, dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak antara UE dan eNode-B, jumlah antena penerima, dan kecepatan pengguna.
 - b. Semakin jauh jarak antara UE dan eNode-B, nilai SNR sistem akan semakin kecil.
 - c. Semakin banyak jumlah antena penerima akan meningkatkan nilai SNR sistem.
 - d. Semakin tinggi kecepatan pengguna, nilai SNR sistem akan semakin kecil.
 - e. Nilai SNR sistem yang paling kecil yaitu 9,0747 dB dengan penggunaan SISO untuk jarak 1400 m pada kecepatan pengguna sebesar 120 km/jam dan nilai SNR sistem yang paling besar yaitu 79,9492 dB dengan penggunaan SIMO 1x4 untuk jarak 600 m pada kecepatan pengguna sebesar 3 km/jam.
2. Berdasarkan hasil analisis BER sistem LTE dengan penggunaan SISO, SIMO 1x2, dan SIMO 1x4, dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Besarnya nilai BER sistem dipengaruhi oleh jumlah antena penerima, jenis modulasi, jarak antara UE dan eNode-B, serta nilai Eb/No.
 - b. Semakin banyak jumlah antena penerima akan mengurangi nilai BER.
 - c. Penggunaan teknik modulasi QPSK menghasilkan nilai BER terkecil dibandingkan saat penggunaan 16-QAM dan 64-QAM.
 - d. Semakin jauh jarak antara UE dan eNode-B, nilai Eb/No akan semakin kecil sedangkan nilai BER akan semakin besar.
 - e. Nilai BER tidak dipengaruhi oleh kecepatan pengguna.
 - f. Nilai BER yang paling besar yaitu 0,1844 dengan penggunaan SISO untuk jarak 1400 m dan teknik modulasi 64-QAM. Sedangkan nilai BER yang paling kecil yaitu 0,0030 dengan penggunaan SIMO 1x4 untuk jarak 600 m

dan teknik modulasi QPSK. Dengan meningkatnya nilai BER sistem, maka semakin banyak *bit* yang salah dalam pentransmisi dari titik asal ke titik tujuan.

3. Berdasarkan hasil analisis kapasitas kanal sistem LTE dengan penggunaan SISO, SIMO 1x2, dan SIMO 1x4, dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Besarnya nilai kapasitas kanal sistem dipengaruhi oleh jumlah antena penerima, kecepatan pengguna, serta jarak antara UE dan eNode-B.
 - b. Penggunaan teknik antena jamak pada bagian penerima akan meningkatkan nilai SNR sistem. Kapasitas kanal akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah antena penerima.
 - c. Semakin tinggi kecepatan pengguna akan meningkatkan nilai kapasitas kanal.
 - d. Kapasitas kanal sistem mengalami penurunan dengan meningkatnya jarak. Hal ini dikarenakan nilai kapasitas kanal dipengaruhi oleh SNR sistem, dimana semakin besar jarak maka perbandingan antara sinyal dengan *noise* akan semakin kecil sehingga nilai kapasitas kanal menurun dan data yang dapat ditransmisikan dalam satu detik lebih sedikit.
 - e. Nilai kapasitas kanal yang paling kecil yaitu 24,8621 Mbps dengan penggunaan SISO untuk jarak 1400 m pada kecepatan pengguna sebesar 3 km/jam dan nilai kapasitas kanal sistem yang paling besar yaitu 207,4577 Mbps dengan penggunaan SIMO 1x4 untuk jarak 600 m pada kecepatan pengguna sebesar 120 km/jam.
4. Penggunaan teknik antena jamak, SIMO, berpengaruh terhadap nilai SNR sistem, BER, dan kapasitas kanal sistem. Kinerja sistem yang paling baik didapatkan ketika penggunaan teknik antena jamak SIMO 1x4 dengan kecepatan pengguna sebesar 3 km/jam dan jarak antara eNB dengan UE sejauh 600 meter.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Skripsi ini bisa dikembangkan dengan membahas pengaruh *handover*, yaitu pelanggan dalam keadaan bergerak dari satu *cell* ke *cell* lain. sehingga dapat dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap performansi SIMO SC-FDMA pada LTE.

2. Mensimulasikan kinerja penggunaan teknik antena jamak SIMO terhadap kinerja SC-FDMA pada LTE sehingga dapat diketahui perbandingan dari hasil perhitungan dan simulasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Baharuddin. 2007. *Pengaruh Penggunaan Teknik Diversity Selection Combining Terhadap Peningkatan Unjuk Kerja Sistem Komunikasi Digital*. Universitas Andalas.
- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. United States : Springer.
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Gessner, Christina, Andreas Roessler. 2009. *LTE Technology and LTE Test ; A Deakside Chat*. Germany : Rohde & Schwarz.
- Hakim, Lukmanul. 2010. *Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM pada Kanal Rayleigh dan AWGN dengan Modulasi QPSK*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Halperin, Daniel *et al*. 2009. *802.11 with Multiple Antennas for Dummies*. University of Washington.
- Hara, Shisuke and Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G Mobile Communications*. London : Artech House
- Holma, Harri dan Antti Toskala. 2007. *WCDMA for UMTS – HSPA evolution and LTE*. UK: British Library
- Holma, Harri dan Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*. UK: British Library
- 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*. Cambridge University Press.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Kumar, Mukesh, Vijay Kumar, Suchika Malik. 2012. *Performance And Analysis Of Propagation Models for Predicting RSS for Efficient Handoff*. International Journal Of Advanced Scientific Research & Technology.
- Messerchmitt, David G., Edward A.L., John R. Barry. 2003. *Digital Communication*. Kluwer Academic Publisher.

- Proakis, John G. 2001. *Digital Communication fourth edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Rezaei, Fahimeh. *A Comprehensive Analysis of LTE Physical Layer*. 2010.. Lincoln : University of Nebraska
- Restantia, Fidela. 2011. *Performansi MIMO OFDMA pada LTE*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rudyanto, Yusup.2010. *Lapisan Fisik pada Teknologi Long Term Evolution di PT. Telkom R&D Bandung*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Salih, Sami H. O.dan Mamoun M. A. Suliman. 2011. *Implementation of Adaptive Modulation and Coding Technique Using*. International Journal of Scientific & Engineering Research.
- 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.
- Shahajahan, Mohammad dan A. Q. M. Abdulla Hes-Shafi. 2009. *Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz*. Sweden : Blekinge Institute of Technology.
- Shah, Syed Hamid Ali, Mudasar Iqbal, Tassadaq Hussain. 2009. *Comparison Between WiMAX and 3GPP LTE*.Blekinge Institute of Technology.
- Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution (From Theory to Practice)*. UK : British Library.
- Tsoulos, George. 2006. *MIMO System Technology for Wireless Communication*. United States : Taylor and Francis Group.
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- Xinzhu, Jin. 2007. *Channel Estimation Techniques of SC-FDMA (Thesis)*. Karlstad University.

LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR Sistem

```

d=[600:200:1400]           %jarak antara eNB dan UE dalam meter
fc=2.6*10^9;               %frekuensi kerja LTE dalam Hz
fc_GHz=2.6;                %frekuensi kerja LTE dalam GHz
c=3*10^8                   %cepat rambat gelombang di udara m/s
hb=80;                     %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;                   %tinggi antena ue (m)
N=600;                     %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 10MHz
Pt=23;                     %daya amplifier UE dalam dBm
Gt=0;                      %gain antena UE dalam dBi
Gp=18;                     %gain antena nodeB dalam dBi

%perhitungan path loss
PL=92.4+20*log10(d./1000)+20*log10(fc_GHz)+20.41+9.83*log10(d./1000)+7.894*lo
g10(fc_GHz)+9.56*(log10(fc_GHz))^2-
log10(hb/200)*(13.958+5.8*(log10(d./1000)).^2)-((0.759*hue)-1.862)

x=10*log10(N)

Pr=Pt+Gt+Gp-PL-x           %daya terima
cp=0.0729;                %faktor cyclic prefix

```

```

NF=2; %noise figure pada Node-B

k=1.38*10^-23 %konstanta Boltzman

T=300 %suhu ruang dalam Kelvin

phi=3.14 %konstanta phi

s=13; %jumlah simbol per subframe

cp=0.0729; %faktor cyclic prefix

Rtot=2*N*s*(1-cp)*1000; %laju data QPSK(bps)

v1=3 %kecepatan dalam km/jam

v2=50 %kecepatan dalam km/jam

v3=120 %kecepatan dalam km/jam

%perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm1=(v1*1000/3600)*fc/c

fm2=(v2*1000/3600)*fc/c

fm3=(v3*1000/3600)*fc/c

Bwsistem1=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm1

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 3 km/jam (Hz)

Bwsistem2=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm2

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 50 km/jam (Hz)

Bwsistem3=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm3

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 120 km/jam(Hz)

NF=2; % noise figure pada node-B

```

$$Nawgn1=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem1)+NF$$

% daya noise untuk kecepatan 3 km/jam

$$Nawgn2=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem2)+NF$$

% daya noise untuk kecepatan 50 km/jam

$$Nawgn3=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem3)+NF$$

% daya noise untuk kecepatan 120 km/jam

% Perhitungan SNR sistem

$$SNR1=Pr- Nawgn1$$

$$SNR2=Pr- Nawgn2$$

$$SNR3=Pr- Nawgn3$$

$$x1=10.^{(SNR1/10)}$$

$$x2=10.^{(SNR2/10)};$$

$$x3=10.^{(SNR3/10)};$$

$$SNRsistem1=(1-cp).*x1;$$

$$SNRsistem2=(1-cp).*x2;$$

$$SNRsistem3=(1-cp).*x3;$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 3 km/jam

$$SNRdb1=10*\log_{10}(SNRsistem1) \quad \%SNR \text{ sistem}(dB)$$

$$SNR_SISO_3=1*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SISO}$$

$$SNR_SIMO2_3=2*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X2}$$

$$SNR_SIMO4_3=4*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X4}$$



%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 50 km/jam

SNRdb2=10*log10(SNRsistem2) %SNR sistem(dB)

SNR_SISO_50=1*SNRdb2 %SNR sistem SISO

SNR_SIMO2_50=2*SNRdb2 %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_50=4*SNRdb2 %SNR sistem SIMO 1X4

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 120 km/jam

SNRdb3=10*log10(SNRsistem3) %SNR sistem(dB)

SNR_SISO_120=1*SNRdb3 %SNR sistem SISO

SNR_SIMO2_120=2*SNRdb3 %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_120=4*SNRdb3 %SNR sistem SIMO 1X4

%tiap kecepatan

figure (1)

```
plot(d,SNR_SISO_3,'-^red',d,SNR_SIMO2_3,'-*green',d,SNR_SIMO4_3,'-oblue');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```

figure (2)

```
plot(d,SNR_SISO_50,'-^red',d,SNR_SIMO2_50,'-*green',d,SNR_SIMO4_50,'-oblue');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```

figure (3)

```
plot(d,SNR_SISO_120,'-^red',d,SNR_SIMO2_120,'-*green',d,SNR_SIMO4_120,'-oblue');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```

%tiap jenis antena jamak

figure (4)

```
plot(d,SNR_SISO_3,'-^red',d, SNR_SISO_50,'-*green',d, SNR_SISO_120,'-oblue');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```

figure (5)

```
plot(d,SNR_SIMO2_3,'-^red',d, SNR_SIMO2_50,'-*green',d, SNR_SIMO2_120,'-oblue');
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```

figure (6)

```
plot(d,SNR_SIMO4_3,'-^red',d, SNR_SIMO4_50,'-*green',d, SNR_SIMO4_120,'-oblue');
```

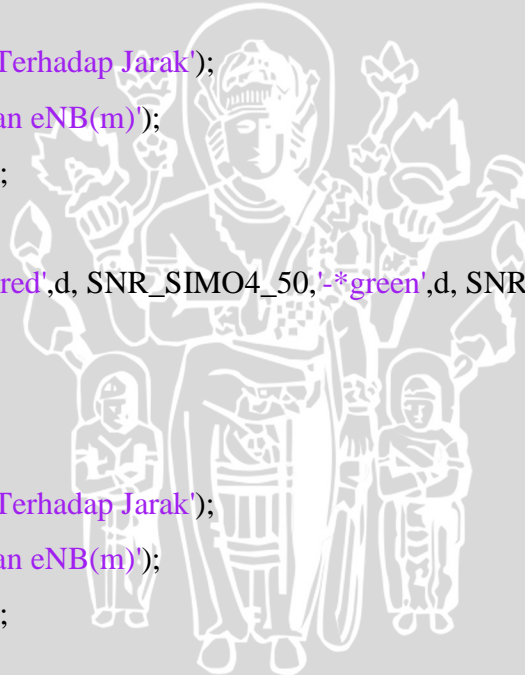
```
hold on;
```

```
grid on;
```

```
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m));
```

```
ylabel('SNR sistem (dB));
```



LAMPIRAN 2

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem

```

d=[600:200:1400]           %jarak antara eNB dan UE dalam meter
fc=2.6*10^9;               %frekuensi kerja LTE dalam Hz
fc_GHz=2.6;                %frekuensi kerja LTE dalam GHz
c=3*10^8                    %cepat rambat gelombang di udara m/s
hb=80;                     %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;                   %tinggi antena ue (m)
N=600;                     %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 10MHz
Pt=23;                     %daya amplifier UE dalam dBm
Gt=0;                      %gain antena UE dalam dBi
Gp=18;                     %gain antena nodeB dalam dBi

%perhitungan path loss
PL=92.4+20*log10(d./1000)+20*log10(fc_GHz)+20.41+9.83*log10(d./1000)+7.894*lo
g10(fc_GHz)+9.56*(log10(fc_GHz))^2-
log10(hb/200)*(13.958+5.8*(log10(d./1000)).^2)-((0.759*hue)-1.862)

x=10*log10(N)

Pr=Pt+Gt+Gp-PL-x           %daya terima
cp=0.0729;                %faktor cyclic prefix

```

```
NF=2; %noise figure pada Node-B
k=1.38*10^-23 %konstanta Boltzman
T=300 %suhu ruang dalam Kelvin
phi=3.14 %konstanta phi
s=13; % jumlah simbol per subframe
cp=0.0729; % faktor cyclic prefix
b1=2 % jumlah bit/symbol QPSK
b2=4 % jumlah bit/symbol 16-QAM
b3=6 % jumlah bit/symbol 64-QAM
Rtot1=b1*N*s*(1-cp)*1000; %laju data QPSK(bps)
Rtot2=b2*N*s*(1-cp)*1000; %laju data 16-QAM(bps)
Rtot3=b3*N*s*(1-cp)*1000; %laju data 64-QAM (bps)
v1=3 %kecepatan dalam km/jam
v2=50 %kecepatan dalam km/jam
v3=120 %kecepatan dalam km/jam
%perhitungan frekuensi doppler maksimum
fm1=(v1*1000/3600)*fc/c
fm2=(v2*1000/3600)*fc/c
fm3=(v3*1000/3600)*fc/c
M1=4
M2=16
M3=64
```

%%%%%%%%%% Perhitungan Bandwidth sistem QPSK %%%%%%%%%%

$$Bwsistem1_QPSK=(Rtot1.*(b1*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1))+fm1$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 3 km/jam(Hz)

$$Bwsistem2_QPSK=(Rtot1.*(b1*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1))+fm2$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 50 km/jam (Hz)

$$Bwsistem3_QPSK=(Rtot1.*(b1*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M1))+fm3$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 120 km/jam (Hz)

%%%%%%%%%% Perhitungan Bandwidth sistem 16-QAM %%%%%%%%%%

$$Bwsistem1_16QAM=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2))+fm1$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 3 km/jam(Hz)

$$Bwsistem2_16QAM=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2))+fm2$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 50 km/jam (Hz)

$$Bwsistem3_16QAM=(Rtot2.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M2))+fm3$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 120 km/jam (Hz)

%%%%%%%%%% Perhitungan Bandwidth sistem 64-QAM %%%%%%%%%%

$$Bwsistem1_64QAM=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3))+fm1$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 3 km/jam(Hz)

$$Bwsistem2_64QAM=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3))+fm2$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 50 km/jam (Hz)

$$Bwsistem3_64QAM=(Rtot3.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(M3))+fm3$$

% Bandwidth sistem untuk kecepatan 120 km/jam (Hz)

%%%%%%%%%% Perhitungan Daya Noise sistem QPSK %%%%%%%%%%

$$Nawgn1_QPSK=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem1_QPSK)+NF$$

%noise untuk kecepatan 3 km/jam

$$Nawgn2_QPSK=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem2_QPSK)+NF$$

%noise untuk kecepatan 50 km/jam

$$Nawgn3_QPSK=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem3_QPSK)+NF$$

%noise untuk kecepatan 120 km/jam

%%%%%%%%%% Perhitungan Daya Noise sistem 16-QAM %%%%%%%%%%

$$Nawgn1_16QAM=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem1_16QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 3 km/jam

$$Nawgn2_16QAM =10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem2_16QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 50 km/jam

$$Nawgn3_16QAM =10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem3_16QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 120 km/jam

%%%%%%%%%% Perhitungan Daya Noise sistem 64-QAM %%%%%%%%%%

$$Nawgn1_64QAM=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem1_64QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 3 km/jam

$$Nawgn2_64QAM =10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem2_64QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 50 km/jam

$$Nawgn3_64QAM =10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem3_64QAM)+NF$$

%noise untuk kecepatan 120 km/jam

%%%%%%%%%% Perhitungan SNR sistem QPSK %%%%%%%%%%

$$SNR1_QPSK =Pr- Nawgn1_QPSK$$

SNR2_QPSK =Pr- Nawgn2_QPSK

SNR3_QPSK =Pr- Nawgn3_QPSK

$x1=10.^{(SNR1_QPSK /10)}$

$x2=10.^{(SNR2_QPSK /10)}$;

$x3=10.^{(SNR3_QPSK /10)}$;

SNRs1_QPSK =(1-cp).*x1;

SNRs2_QPSK =(1-cp).*x2;

SNRs3_QPSK =(1-cp).*x3;

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi QPSK untuk kecepatan 3 km/jam

SNRdb1=10*log10(SNRs1_QPSK) *%SNR sistem(dB)*

SNR_SISO_3QPSK=1*SNRdb1 *%SNR sistem SISO*

SNR_SIMO2_3QPSK=2*SNRdb1 *%SNR sistem SIMO 1X2*

SNR_SIMO4_3QPSK=4*SNRdb1 *%SNR sistem SIMO 1X4*

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 3 KM/JAM (QPSK)

Eb_1SISO_3= SNR_SISO_3QPSK +10.*log10(Bwsistem1_QPSK./Rtot1)

%Eb/No SISO

Eb_1SIMO2_3= SNR_SIMO2_3QPSK +10.*log10(Bwsistem1_QPSK./Rtot1)

%Eb/No SIMO 1X2

Eb_1SIMO4_3= SNR_SIMO4_3QPSK +10.*log10(Bwsistem1_QPSK./Rtot1)

%Eb/No SIMO 1X4

aPbe_1SISO_3=1+(1./Eb_1SISO_3)

aPbe_1SIMO2_3=1+(1./Eb_1SIMO2_3)

$$aPbe_1SIMO4_3=1+(1./Eb_1SIMO4_3)$$

$$bPbe=[1 \ 1 \ 1 \ 1]$$

$$Pbe_1SISO_3=0.5.*(bPbe -(1./(aPbe_1SISO_3).^0.5)) \quad \%BER \ SISO$$

$$Pbe_1SIMO2_3=0.5.*(bPbe -(1./(aPbe_1SIMO2_3).^0.5)) \quad \%BER \ SIMO \ 1X2$$

$$Pbe_1SIMO4_3=0.5.*(bPbe -(1./(aPbe_1SIMO4_3).^0.5)) \quad \%BER \ SIMO \ 1X4$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi QPSK untuk kecepatan 50 km/jam

$$SNRdb2=10*\log_{10}(SNRs2_QPSK) \quad \%SNR \ sistem(dB)$$

$$SNR_SISO_50QPSK=1*SNRdb2 \quad \%SNR \ sistem \ SISO \ untuk \ kecepatan \ 3 \ km/jam$$

$$SNR_SIMO2_50QPSK=2*SNRdb2 \quad \%SNR \ sistem \ SIMO \ 1X2$$

$$SNR_SIMO4_50QPSK=4*SNRdb2 \quad \%SNR \ sistem \ SIMO \ 1X4$$

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 50 KM/JAM (QPSK)

$$Eb_1SISO_50= SNR_SISO_50QPSK +10.*\log_{10}(Bwsistem2_QPSK./Rtot1)$$

%Eb/No SISO

$$Eb_1SIMO2_50= SNR_SIMO2_50QPSK+10.*\log_{10}(Bwsistem2_QPSK./Rtot1)$$

%Eb/No SIMO 1X2

$$Eb_1SIMO4_50= SNR_SIMO4_50QPSK+10.*\log_{10}(Bwsistem2_QPSK./Rtot1)$$

%Eb/No SIMO 1X4

$$aPbe_1SISO_50=1+(1./Eb_1SISO_50)$$

$$aPbe_1SIMO2_50=1+(1./Eb_1SIMO2_50)$$

$$aPbe_1SIMO4_50=1+(1./Eb_1SIMO4_50)$$

$$Pbe_1SISO_50=0.5.*(bPbe -(1./(aPbe_1SISO_50).^0.5)) \quad \%BER \ SISO$$

$$P_{be_1SIMO2_50} = 0.5 * (b_{Pbe} - (1 / (a_{Pbe_1SIMO2_50})^{0.5})) \quad \%BER \text{ SIMO } 1X2$$

$$P_{be_1SIMO4_50} = 0.5 * (b_{Pbe} - (1 / (a_{Pbe_1SIMO4_50})^{0.5})) \quad \%BER \text{ SIMO } 1X4$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi QPSK untuk kecepatan 120 km/jam

$$SNR_{db3} = 10 * \log_{10}(SNR_{s3_QPSK}) \quad \%SNR \text{ sistem}(dB)$$

$$SNR_SISO_120QPSK = 1 * SNR_{db3} \quad \%SNR \text{ sistem SISO}$$

$$SNR_SIMO2_120QPSK = 2 * SNR_{db3} \quad \%SNR \text{ sistem SIMO } 1X2$$

$$SNR_SIMO4_120QPSK = 4 * SNR_{db3} \quad \%SNR \text{ sistem SIMO } 1X4$$

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 120 KM/JAM (QPSK)

$$E_{b_1SISO_120} = SNR_SISO_120QPSK + 10 * \log_{10}(B_{wsistem3_QPSK} / R_{tot1})$$

%Eb/No SISO

$$E_{b_1SIMO2_120} = SNR_SIMO2_120QPSK + 10 * \log_{10}(B_{wsistem3_QPSK} / R_{tot1})$$

%Eb/No SIMO 1X2

$$E_{b_1SIMO4_120} = SNR_SIMO4_120QPSK + 10 * \log_{10}(B_{wsistem3_QPSK} / R_{tot1})$$

%Eb/No SIMO 1X4

$$a_{Pbe_1SISO_120} = 1 + (1 / E_{b_1SISO_120})$$

$$a_{Pbe_1SIMO2_120} = 1 + (1 / E_{b_1SIMO2_120})$$

$$a_{Pbe_1SIMO4_120} = 1 + (1 / E_{b_1SIMO4_120})$$

$$P_{be_1SISO_120} = 0.5 * (b_{Pbe} - (1 / (a_{Pbe_1SISO_120})^{0.5})) \quad \%BER \text{ SISO}$$

$$P_{be_1SIMO2_120} = 0.5 * (b_{Pbe} - (1 / (a_{Pbe_1SIMO2_120})^{0.5})) \quad \%BER \text{ SIMO } 1X2$$

$$P_{be_1SIMO4_120} = 0.5 * (b_{Pbe} - (1 / (a_{Pbe_1SIMO4_120})^{0.5})) \quad \%BER \text{ SIMO } 1X4$$

%%%%%%%% Perhitungan SNR sistem 16-QAM %%%%%%%%%%

$$SNR_{1_16QAM} = Pr - N_{awgn1_16QAM}$$

SNR2_16QAM =Pr- Nawgn2_16QAM

SNR3_16QAM=Pr- Nawgn3_16QAM

$x1=10.^{(SNR1_16QAM / 10)}$

$x2=10.^{(SNR2_16QAM / 10)}$;

$x3=10.^{(SNR3_16QAM / 10)}$;

SNRs1_16QAM =(1-cp).*x1;

SNRs2_16QAM =(1-cp).*x2;

SNRs3_16QAM=(1-cp).*x3;

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi 16-QAM untuk kecepatan 3 km/jam

SNRdb4=10*log10(SNRs1_16QAM) %SNR sistem(dB)

SNR_SISO_316QAM=1*SNRdb4 %SNR sistem SISO untuk kecepatan 3 km/jam

SNR_SIMO2_316QAM=2*SNRdb4 %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_316QAM=4*SNRdb4 %SNR sistem SIMO 1X4

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 3 KM/JAM (16-QAM)

Eb_2SISO_3= SNR_SISO_316QAM +10.*log10(Bwsistem1_16QAM./Rtot2)

%Eb/No SISO

Eb_2SIMO2_3= SNR_SIMO2_316QAM +10.*log10(Bwsistem1_16QAM./Rtot2)

%Eb/No SIMO 1X2

Eb_2SIMO4_3= SNR_SIMO4_316QAM +10.*log10(Bwsistem1_16QAM./Rtot2)

%Eb/No SIMO 1X4

aPbe_2SISO_3=1+(5./(2.*Eb_2SISO_3))

aPbe_2SIMO2_3=1+(5./(2.*Eb_2SIMO2_3))

aPbe_2SIMO4_3=1+(5./(2.*Eb_2SIMO4_3))

Pbe_2SISO_3= (3/8).*(bPbe -(1./(aPbe_2SISO_3).^0.5))

%BER SISO

Pbe_2SIMO2_3= (3/8).*(bPbe-(1./(aPbe_2SIMO2_3).^0.5))

%BER SIMO 1X2

Pbe_2SIMO4_3= (3/8).*(bPbe-(1./(aPbe_2SIMO4_3).^0.5))

%BER SIMO 1X4

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi 16-QAM untuk kecepatan 50 km/jam

SNRdb5=10*log10(SNRs2_16QAM) %SNR sistem(dB)

SNR_SISO_5016QAM=1*SNRdb5 %SNR sistem SISO untuk kecepatan 50 km/jam

SNR_SIMO2_5016QAM=2*SNRdb5 %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_5016QAM=4*SNRdb5 %SNR sistem SIMO 1X4

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 50 KM/JAM (16-QAM)

$$Eb_2SISO_50 = SNR_SISO_5016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem2_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SISO

$$Eb_2SIMO2_50 = SNR_SIMO2_5016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem2_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SIMO 1X2

$$Eb_2SIMO4_50 = SNR_SIMO4_5016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem2_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SIMO 1X4

$$aPbe_2SISO_50 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SISO_50))$$

$$aPbe_2SIMO2_50 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SIMO2_50))$$

$$aPbe_2SIMO4_50 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SIMO4_50))$$

$$Pbe_2SISO_50 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SISO_50).^0.5)) \quad \%BER \text{ SISO}$$

$$Pbe_2SIMO2_50 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SIMO2_50).^0.5)) \quad \%BER \text{ SIMO 1X2}$$

$$Pbe_2SIMO4_50 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SIMO4_50).^0.5)) \quad \%BER \text{ SIMO 1X4}$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 120 km/jam (16-QAM)

$$SNRdb6 = 10 \cdot \log_{10}(SNRs3_16QAM) \quad \%SNR \text{ sistem(dB)}$$

$$SNR_SISO_12016QAM = 1 \cdot SNRdb6 \quad \%SNR \text{ sistem SISO untuk kecepatan 50 km/jam}$$

$$SNR_SIMO2_12016QAM = 2 \cdot SNRdb6 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X2}$$

$$SNR_SIMO4_12016QAM = 4 \cdot SNRdb6 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X4}$$

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 120 KM/JAM (16-QAM)

$$Eb_2SISO_120 = SNR_SISO_12016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SISO

$$Eb_2SIMO2_120 = SNR_SIMO2_12016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SIMO 1X2

$$Eb_2SIMO4_120 = SNR_SIMO4_12016QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_16QAM./Rtot2)$$

%Eb/No SIMO 1X4

$$aPbe_2SISO_120 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SISO_120))$$

$$aPbe_2SIMO2_120 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SIMO2_120))$$

$$aPbe_2SIMO4_120 = 1 + (5./(2 \cdot Eb_2SIMO4_120))$$

$$Pbe_2SISO_120 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SISO_120).^0.5)) \quad \%BER \text{ SISO}$$

$$Pbe_2SIMO2_120 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SIMO2_120).^0.5)) \quad \%BER \text{ SIMO 1X2}$$

$$Pbe_2SIMO4_120 = (3/8) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_2SIMO4_120).^0.5)) \quad \%BER \text{ SIMO 1X4}$$

%%%%%%%% Perhitungan SNR sistem 64-QAM %%%%%%%%%%

$$SNR1_64QAM = Pr - Nawgn1_64QAM$$

$$SNR2_64QAM = Pr - Nawgn2_64QAM$$

SNR3_64QAM=Pr- Nawgn3_64QAM

$x1=10.^{(SNR1_64QAM / 10)}$

$x2=10.^{(SNR2_64QAM / 10)}$;

$x3=10.^{(SNR3_64QAM / 10)}$;

$SNRs1_64QAM=(1-cp).x1$;

$SNRs2_64QAM=(1-cp).x2$;

$SNRs3_64QAM=(1-cp).x3$;

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk modulasi 64-QAM untuk kecepatan 3 km/jam

$SNRdb7=10*\log_{10}(SNRs1_64QAM)$ %SNR sistem(dB)

$SNR_SISO_364QAM=1*SNRdb7$ %SNR sistem SISO untuk kecepatan 3 km/jam

$SNR_SIMO2_364QAM=2*SNRdb7$ %SNR sistem SIMO 1X2

$SNR_SIMO4_364QAM=4*SNRdb7$ %SNR sistem SIMO 1X4

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 3 KM/JAM (64-QAM)

$Eb_3SISO_3= SNR_SISO_364QAM+10.*\log_{10}(Bwsistem1_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SISO

$Eb_3SIMO2_3= SNR_SIMO2_364QAM +10.*\log_{10}(Bwsistem1_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X2

$Eb_3SIMO4_3= SNR_SIMO4_364QAM +10.*\log_{10}(Bwsistem1_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X4

$aPbe_3SISO_3=1+(7./Eb_3SISO_3)$

$aPbe_3SIMO2_3=1+(7./Eb_3SIMO2_3)$

$aPbe_3SIMO4_3=1+(7./Eb_3SIMO4_3)$

$Pbe_3SISO_3=(7/24).*(bPbe -(1./(aPbe_3SISO_3).^0.5))$ %BER SISO

$Pbe_3SIMO2_3=(7/24).*(bPbe -(1./(aPbe_3SIMO2_3).^0.5))$ %BER SIMO 1X2

$Pbe_3SIMO4_3=(7/24).*(bPbe -(1./(aPbe_3SIMO4_3).^0.5))$ %BER SIMO 1X4

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 50 km/jam (64-QAM)

$SNRdb8=10*\log_{10}(SNRs2_64QAM)$ %SNR sistem(dB)

$SNR_SISO_5064QAM=1*SNRdb8$ %SNR sistem SISO untuk kecepatan 3 km/jam

$SNR_SIMO2_5064QAM=2*SNRdb8$ %SNR sistem SIMO 1X2

$SNR_SIMO4_5064QAM=4*SNRdb8$ %SNR sistem SIMO 1X4

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 50 KM/JAM (64-QAM)

$Eb_3SISO_50= SNR_SISO_5064QAM+10.*\log_{10}(Bwsistem2_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SISO

$Eb_3SIMO2_50 = SNR_SIMO2_50 64QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem2_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X2

$Eb_3SIMO4_50 = SNR_SIMO4_50 64QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem2_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X4

$aPbe_3SISO_50 = 1 + (7./Eb_3SISO_50)$

$aPbe_3SIMO2_50 = 1 + (7./Eb_3SIMO2_50)$

$aPbe_3SIMO4_50 = 1 + (7./Eb_3SIMO4_50)$

$Pbe_3SISO_50 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SISO_50).^0.5))$ %BER SISO

$Pbe_3SIMO2_50 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SIMO2_50).^0.5))$ %BER SIMO 1X2

$Pbe_3SIMO4_50 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SIMO4_50).^0.5))$ %BER SIMO 1X4

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 120 km/jam (64-QAM)

$SNRdb9 = 10 \cdot \log_{10}(SNRs2_64QAM)$ %SNR sistem(dB)

$SNR_SISO_120 64QAM = 1 \cdot SNRdb9$ %SNR sistem SISO untuk kecepatan 3 km/jam

$SNR_SIMO2_120 64QAM = 2 \cdot SNRdb9$ %SNR sistem SIMO 1X2

$SNR_SIMO4_120 64QAM = 4 \cdot SNRdb9$ %SNR sistem SIMO 1X4

% Perhitungan Eb/No KECEPATAN 120 KM/JAM (64-QAM)

$Eb_3SISO_120 = SNR_SISO_120 64QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SISO

$Eb_3SIMO2_120 = SNR_SIMO2_120 64QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X2

$Eb_3SIMO4_120 = SNR_SIMO4_120 64QAM + 10 \cdot \log_{10}(Bwsistem3_64QAM./Rtot3)$

%Eb/No SIMO 1X4

$aPbe_3SISO_120 = 1 + (7./Eb_3SISO_120)$

$aPbe_3SIMO2_120 = 1 + (7./Eb_3SIMO2_120)$

$aPbe_3SIMO4_120 = 1 + (7./Eb_3SIMO4_120)$

$Pbe_3SISO_120 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SISO_120).^0.5))$ %BER SISO

$Pbe_3SIMO2_120 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SIMO2_120).^0.5))$ %BER SIMO 1X2

$Pbe_3SIMO4_120 = (7/24) \cdot (bPbe - (1./(aPbe_3SIMO4_120).^0.5))$ %BER SIMO 1X4

%tiap kecepatan

figure (1)

plot(d, Pbe_1SISO_3, '-^red', d, Pbe_1SIMO2_3, '-*red', d, Pbe_1SIMO4_3, '-ored', d,

Pbe_2SISO_3, '-^blue', d, Pbe_2SIMO2_3, '-*blue', d, Pbe_2SIMO4_3, '-oblue', d,

Pbe_3SISO_3, '-^green', d, Pbe_3SIMO2_3, '-*green', d, Pbe_3SIMO4_3, '-ogreen');

```

hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('BER');
figure (2)
plot(d, Pbe_1SISO_50,'-^red',d, Pbe_1SIMO2_50,'-*red',d, Pbe_1SIMO4_50,'-ored',d,
Pbe_2SISO_50,'-^blue',d, Pbe_2SIMO2_50,'-*blue',d, Pbe_2SIMO4_50,'-oblue', d,
Pbe_3SISO_50,'-^green',d, Pbe_3SIMO2_50,'-*green',d, Pbe_3SIMO4_50,'-ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('BER');
figure (3)
plot(d, Pbe_1SISO_120,'-^red',d, Pbe_1SIMO2_120,'-*red',d, Pbe_1SIMO4_120,'-ored',d,
Pbe_2SISO_120,'-^blue',d, Pbe_2SIMO2_120,'-*blue',d, Pbe_2SIMO4_120,'-oblue',
d, Pbe_3SISO_120,'-^green',d, Pbe_3SIMO2_120,'-*green',d,
Pbe_3SIMO4_120,'-ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('BER');
%tiap modulasi
figure (4)
plot(d, Pbe_1SISO_3,'-^red',d, Pbe_1SIMO2_3,'-*red',d, Pbe_1SIMO4_3,'-ored',d,
Pbe_1SISO_50,'-^blue',d, Pbe_1SIMO2_50,'-*blue',d, Pbe_1SIMO4_50,'-oblue', d,
Pbe_1SISO_120,'-^green',d, Pbe_1SIMO2_120,'-*green',d, Pbe_1SIMO4_120,'-ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');

```

```

ylabel('BER');
figure (5)
plot(d, Pbe_2SISO_3, '-^red',d, Pbe_2SIMO2_3, '-*red',d, Pbe_2SIMO4_3, '-ored',d,
Pbe_2SISO_50, '-^blue',d, Pbe_2SIMO2_50, '-*blue',d, Pbe_2SIMO4_50, '-obblue', d,
Pbe_2SISO_120, '-^green',d, Pbe_2SIMO2_120, '-*green',d, Pbe_2SIMO4_120, '-
ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('BER');
figure (6)
plot(d, Pbe_3SISO_3, '-^red',d, Pbe_3SIMO2_3, '-*red',d, Pbe_3SIMO4_3, '-ored',d,
Pbe_3SISO_50, '-^blue',d, Pbe_3SIMO2_50, '-*blue',d, Pbe_3SIMO4_50, '-obblue', d,
Pbe_3SISO_120, '-^green',d, Pbe_3SIMO2_120, '-*green',d, Pbe_3SIMO4_120, '-
ogreen');
hold on;
grid on;
title('Grafik BER Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('BER');

```



LAMPIRAN 3

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Kapasitas Kanal Sistem

```

d=[600:200:1400]           %jarak antara eNB dan UE dalam meter
fc=2.6*10^9;               %frekuensi kerja LTE dalam Hz
fc_GHz=2.6;                %frekuensi kerja LTE dalam GHz
c=3*10^8                   %cepat rambat gelombang di udara m/s
hb=80;                     %tinggi antena nodeB (m)
hue=1.5;                   %tinggi antena ue (m)
N=600;                     %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 10
MHz
Pt=23;                     %daya amplifier UE dalam dBm
Gt=0;                      %gain antena UE dalam dBi
Gp=18;                     %gain antena nodeB dalam dBi

%perhitungan path loss
PL=92.4+20*log10(d./1000)+20*log10(fc_GHz)+20.41+9.83*log10(d./1000)+7.894*log10(fc_GHz)+9.56*(log10(fc_GHz))^2-log10(hb/200)*(13.958+5.8*(log10(d./1000)).^2)-((0.759*hue)-1.862)
x=10*log10(N)
Pr=Pt+Gt+Gp-PL-x           %daya terima

```

```

cp=0.0729; %faktor cyclic prefix

NF=2; %noise figure pada Node-B

k=1.38*10^-23 %konstanta Boltzman

T=300 %suhu ruang dalam Kelvin

phi=3.14 %konstanta phi

s=13; %jumlah simbol per subframe

cp=0.0729; %faktor cyclic prefix

Rtot=2*N*s*(1-cp)*1000; %laju data QPSK(bps)

v1=3 %kecepatan dalam km/jam

v2=50 %kecepatan dalam km/jam

v3=120 %kecepatan dalam km/jam

%perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm1=(v1*1000/3600)*fc/c

fm2=(v2*1000/3600)*fc/c

fm3=(v3*1000/3600)*fc/c

Bwsistem1=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm1
%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 3 km/jam (Hz)

Bwsistem2=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm2
%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 50 km/jam (Hz)

Bwsistem3=(Rtot.*(2*(1-cp)+N-1))./((1-cp)*N.*log2(4))+fm3
%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 120 km/jam(Hz)

NF=2; % noise figure pada node-B

Nawgn1=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*Log10(Bwsistem1)+NF
% daya noise untuk kecepatan 3 km/jam

```

$$Nawgn2=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem2)+NF$$

% daya noise untuk kecepatan 50 km/jam

$$Nawgn3=10*\log_{10}(1.38*10^{-23}.*300)+10.*\log_{10}(Bwsistem3)+NF$$

% daya noise untuk kecepatan 120 km/jam

% Perhitungan SNR sistem

$$SNR1=Pr- Nawgn1$$

$$SNR2=Pr- Nawgn2$$

$$SNR3=Pr- Nawgn3$$

$$x1=10.^{(SNR1/10)}$$

$$x2=10.^{(SNR2/10)};$$

$$x3=10.^{(SNR3/10)};$$

$$SNRsistem1=(1-cp).*x1;$$

$$SNRsistem2=(1-cp).*x2;$$

$$SNRsistem3=(1-cp).*x3;$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 3 km/jam

$$SNRdb1=10*\log_{10}(SNRsistem1) \quad \%SNR \text{ sistem}(dB)$$

$$SNR_SISO_3=1*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SISO}$$

$$SNR_SIMO2_3=2*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X2}$$

$$SNR_SIMO4_3=4*SNRdb1 \quad \%SNR \text{ sistem SIMO 1X4}$$

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 50 km/jam

$$SNRdb2=10*\log_{10}(SNRsistem2) \quad \%SNR \text{ sistem}(dB)$$




```

SNR_SISO_50=1*SNRdb2           %SNR sistem SISO

SNR_SIMO2_50=2*SNRdb2         %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_50=4*SNRdb2         %SNR sistem SIMO 1X4

%Perhitungan SNR Antena Jamak untuk kecepatan 120 km/jam

SNRdb3=10*log10(SNRsistem3)    %SNR sistem(dB)

SNR_SISO_120=1*SNRdb3         %SNR sistem SISO

SNR_SIMO2_120=2*SNRdb3        %SNR sistem SIMO 1X2

SNR_SIMO4_120=4*SNRdb3        %SNR sistem SIMO 1X4

%PERHITUNGAN KAPASITAS KANAL untuk kecepatan 3 km/jam

xdb1_3=10.^(SNR_SISO_3/10)

xdb2_3=10.^(SNR_SIMO2_3/10)

xdb3_3=10.^(SNR_SIMO4_3/10)

Cscfdma1_3=(Bwsistem1/1000000.*log2(1+xdb1_3))
                      %kapasitas kanal sistem SISO (Mbps)

Cscfdma2_3=(Bwsistem1/1000000.*log2(1+xdb2_3))
                      %kapasitas kanal sistem SIMO 1X2

Cscfdma3_3=(Bwsistem1/1000000.*log2(1+xdb3_3))
                      %kapasitas kanal sistem SIMO 1X4

%PERHITUNGAN KAPASITAS KANAL untuk kecepatan 50 km/jam

xdb1_50=10.^(SNR_SISO_50/10);

xdb2_50=10.^(SNR_SIMO2_50/10);

xdb3_50=10.^(SNR_SIMO4_50/10);

Cscfdma1_50=(Bwsistem2/1000000.*log2(1+xdb1_50))
                      %kapasitas kanal sistem SISO (Mbps)

```



```

Cscfdma2_50=(Bwsistem2/1000000.*log2(1+xdb2_50))
                                %kapasitas kanal sistem SIMO 1X2

Cscfdma3_50=(Bwsistem2/1000000.*log2(1+xdb3_50))
                                %kapasitas kanal sistem SIMO 1X4

%PERHITUNGAN KAPASITAS KANAL untuk kecepatan 120 km/jam

xdb1_120=10.^( SNR_SISO_120/10);

xdb2_120=10.^( SNR_SIMO2_120/10);

xdb3_120=10.^( SNR_SIMO4_120/10);

Cscfdma1_120=(Bwsistem3/1000000.*log2(1+xdb1_120))
                                %kapasitas kanal sistem SISO

Cscfdma2_120=(Bwsistem3/1000000.*log2(1+xdb2_120))
                                %kapasitas kanal sistem SIMO 1X2

Cscfdma3_120=(Bwsistem3/1000000.*log2(1+xdb3_120))
                                %kapasitas kanal sistem SIMO 1X4

%tiap kecepatan
figure (1)
plot(d, Cscfdma1_3, '-^red',d, Cscfdma2_3, '-*green',d, Cscfdma3_3, '-oblue');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
figure (2)
plot(d, Cscfdma1_50, '-^red',d, Cscfdma2_50, '-*green',d, Cscfdma3_50, '-oblue');
hold on;
grid on;

```

```

title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
figure (3)
plot(d, Cscfdma1_120,'-^red',d, Cscfdma2_120,'-*green',d, Cscfdma3_120,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
%tiap jenis multi antena
figure (4)
plot(d, Cscfdma1_3,'-^red',d, Cscfdma1_50,'-*green',d, Cscfdma1_120,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
figure (5)
plot(d, Cscfdma2_3,'-^red',d, Cscfdma2_50,'-*green',d, Cscfdma2_120,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');
figure (6)
plot(d, Cscfdma3_3,'-^red',d, Cscfdma3_50,'-*green',d, Cscfdma3_120,'-oblue');
hold on;
grid on;
title('Grafik Kapasitas Kanal Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak antara UE dan eNB(m)');
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)');

```