

# Kinerja Modulasi dan Coding Rate Adaptif pada Physical Layer Long Term Evolution

Subuh Pramono

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang  
E-mail : pramoeno\_e\_soeboeh@yahoo.ca

## Abstrak

Layer fisik LTE (E-UTRAN) mendukung link adaptation, skema transmisi untuk menjaga throughput dan drop rate dengan merubah jenis modulasi dan code rate yang dinamis berdasar kondisi kanal. Perubahan modulasi dan code rate didasarkan nilai channel quality indicator (CQI) feedback dari user ke eNodeB. Penelitian ini menggunakan modulasi QPSK, 16 QAM, 64 QAM dan code rate channel coding 1/2, 1/3. Orde modulasi yang lebih tinggi digunakan pada saat nilai CQI besar atau SNR kanal bagus. Hasil penelitian menunjukkan, kinerja modulasi orde rendah (QPSK) menghasilkan kinerja bit error rate (BER) sistem lebih baik, akan tetapi efisiensi yang dihasilkan rendah, sedangkan modulasi orde tinggi (64 QAM) menghasilkan kinerja yang sebaliknya. Code rate 1/3 menghasilkan kinerja BER sistem lebih baik dibanding code rate 1/2, kemampuan deteksi dan koreksi error lebih baik. Penentuan jenis/orde modulasi dan code rate yang optimal pada kanal rayleigh flat fading menghasilkan kinerja BER sistem yang maksimal.

**Kata Kunci :** CQI, SNR, BER, Modulasi, Code rate, LTE E UTRAN

## Abstract

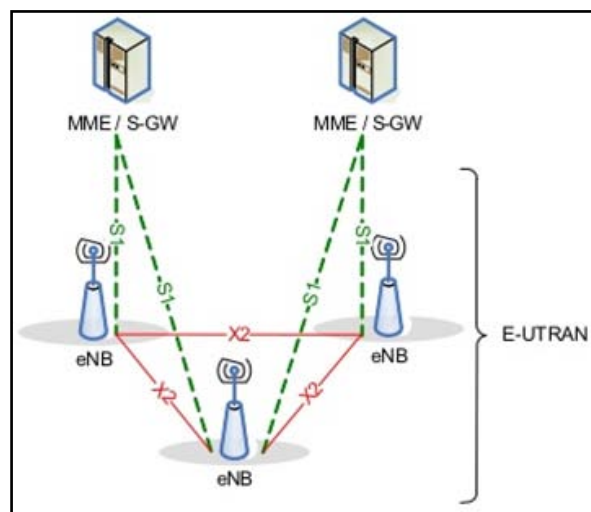
LTE physical layer (E-UTRAN) supports to link adaptation scheme that this scheme maintains throughput and drop rate by changing the type of modulation and code rate based on the dynamic channel conditions. Modulation and code rate changes based on channel quality indicator (CQI) feedback which is from the user to the eNodeB. This study uses modulation (QPSK, 16 QAM, 64 QAM) and code rate (1/2, 1/3). Higher-order modulation is used at the good CQI or good channel SNR. The results show, the performance of low-order modulation (QPSK) produces a better BER performance, however it has a low efficiency, while the higher order modulation (64 QAM) yields the performances conversely. Code rate 1/3 produced a better BER performance than code rate 1/2, it has a better error detection and correction capabilities. Determination of the order modulation and code rate optimally in rayleigh flat fading channel produce a maximum BER performance.

**Keywords :** CQI, SNR, BER, Modulation, Code rate, LTE E UTRAN

## I. PENDAHULUAN

IMT 2000 ITU merupakan set standarisasi dan spesifikasi global untuk 3G (3<sup>rd</sup> Generation), yang dikembangkan oleh ITU-R pada pertengahan 1990. Dalam pengembangannya, IMT-2000 mengadopsi 3 basis platform teknologi seluler, meliputi : basis TDMA Single-Carrier (IMT-SC)-EDGE, basis CDMA Multi-Carrier (IMT-MC)-CDMA 2000, dan basis CDMA Direct Spread (IMT-DS) & CDMA TDD (IMT-TC) biasa disebut UMTS/W-CDMA.

Platform teknologi seluler yang berbasis UMTS/W-CDMA dalam perkembangannya sampai pada 3G transitional (tepatnya 3.9 G) yaitu LTE (Long Term Evolution).



Gambar 1 Arsitektur Jaringan Long Term Evolution [3]

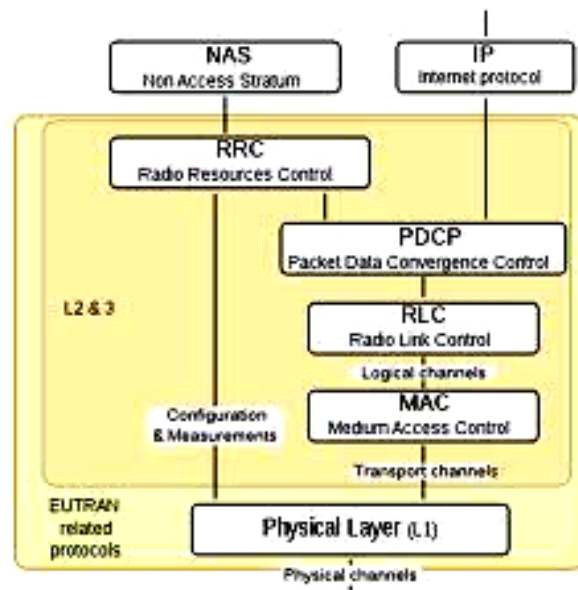
Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA) merupakan air interface pada LTE. e-UTRA berada pada level Radio Access Network (E-UTRAN). Spesifikasi utama e-UTRA LTE meliputi [3] :

- Kecepatan maksimal download 299,6 Mbps, kecepatan maksimal upload 75,4 Mbps (4 x 4 antena MIMO, bandwidth 20 MHz)
- Latency rendah untuk transfer data (< 5ms), lebih rendah daripada teknologi akses radio sebelumnya
- Mendukung kecepatan user yang tinggi, 350 km/jam – 500 km/jam, sesuai frekuensi yang digunakan
- OFDMA untuk downlink, SC-FDMA untuk uplink
- Mendukung FDD dan TDD
- Mendukung untuk seluruh spektrum frekuensi IMT (ITU-R)
- Scalable bandwidth : 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz and 20 MHz
- Mendukung femto dan picocell
- Mendukung 200 user data per 5 MHz
- Packet switch
- Mendukung inter-operation dan co-existence dengan teknologi yang ada (GSM/EDGE, UMTS, CDMA 2000)
- Mendukung MBSFN (Multicast-Broadcast Single Frequency Network)

EUTRAN hanya terdiri atas e-nodeB. E-nodeB mempunyai tugas sama halnya nodeB dan RNC pada UTRAN. Tujuan penyederhanaan ini untuk mengurangi latensi pada interface radio. e-nodeB terhubung dengan elemen lain melalui interface X2 dan terhubung packet switch core network melalui interface S1.

E-UTRAN terdiri atas [3] :

- Physical layer : membawa informasi dari kanal transport MAC melalui air interface. Menangani link adaptation (AMC-adaptive modulation and coding), power control, cell search (sinkronisasi dan handover) untuk level layer RRC.
- MAC (Medium Access Control): Menyediakan kanal logic bagi sublayer RLC, menangani HARQ, dynamic scheduling.
- RLC (Radio Link Control): Membawa PDU PDPC
- PDCP (Packet Data Convergence Control): Menangani ciphering dan protection data.
- RRC (Radio Resource Control): Menangani broadcast informasi terkait access stratum, non-access stratum, paging, handover, RAT, QoS, dll.



Gambar 2 EUTRAN Protocol Stack

Link adaptation merupakan pengembangan teknik penransmisian sinyal yang meliputi coding rate, modulasi diubah secara dinamis untuk mengkompensasi perubahan kondisi kanal nirkabel. Tujuan link adaptation memaksimalkan throughput pada kondisi kanal yang terus berubah (time varying) dengan drop rate rendah. Sistem long term evolution, arah downlink dan uplink, menggunakan 3 jenis modulasi yaitu *QPSK*, *16 QAM*, *64 QAM*.

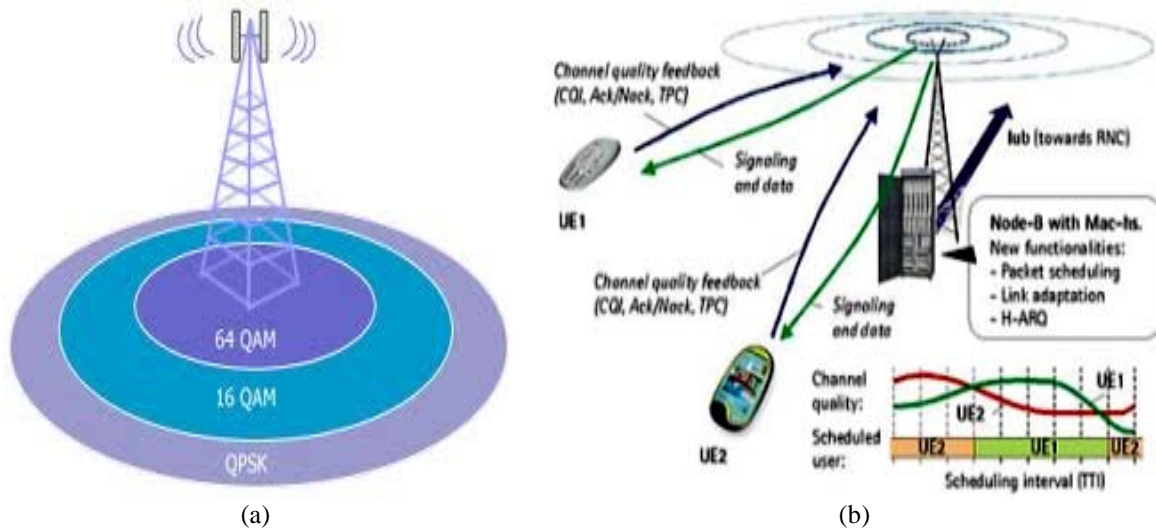
Sistem modulasi pada pada long term evolution berubah menyesuaikan kondisi kanal, modulasi orde rendah (*QPSK*) akan digunakan saat kondisi kanal sedang jelek, modulasi orde rendah lebih handal/robust dengan kondisi kanal yang jelek akan tetapi modulasi *QPSK* menghasilkan bit rate yang lebih rendah, yaitu efisiensi per simbol sebesar 2 bit per simbol. Modulasi orde tinggi (*64 QAM*) cocok untuk kondisi kanal yang baik, yang tidak banyak interferensi. Modulasi *64 QAM* bisa menghasilkan 6 bit per simbol, hampir 3 x bit rate yang dihasilkan pada *QPSK* [2].

Sistem coding pada long term evolution menggunakan *turbo code*, code rate 1/3 dengan 8 state encoder (constraint length  $K = 4$ ). Code rate ( $r$ ) pada teknik coding merupakan perbandingan jumlah bit informasi ( $n$ ) dengan bit terkodekan ( $l$ ),  $r = n/l$ , selisih bit terkodekan ( $l$ ) dengan bit informasi ( $n$ ) merupakan bit untuk deteksi kesalahan/error dan bit untuk koreksi kesalahan/error. Semakin besar selisih  $l$  dan  $n$  berarti kemampuan deteksi dan koreksi kesalahan/error semakin bagus akan tetapi efisiensinya rendah, ini dikatakan code rate

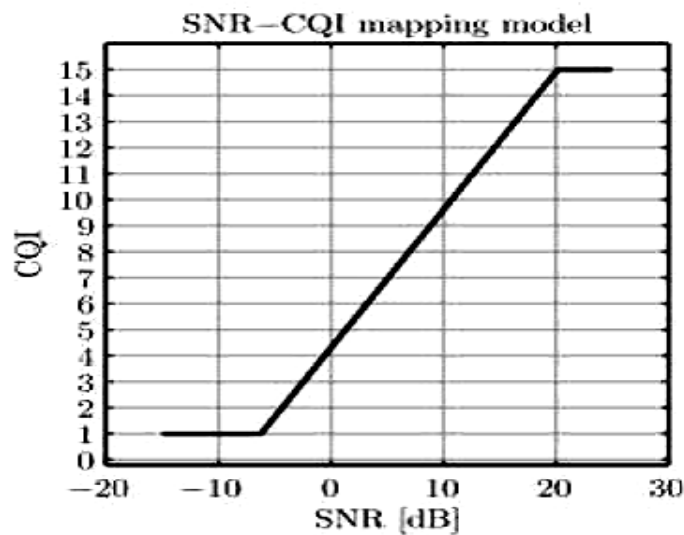
rendah. Hal ini akan berkebalikan jika selisih 1 dan n kecil maka kemampuan deteksi dan koreksi kesalahan/error semakin menurun,akan tetapi tingkat efisiensi tinggi,ini disebut code rate tinggi. Code rate tinggi akan digunakan saat kondisi kanal sedang baik, sedangkan code rate rendah digunakan saat kanal sedang jelek dengan

mengandalkan kemampuan deteksi dan koreksi yang baik.

Penerapan kombinasi skema jenis modulasi dan coding rate sesuai kondisi kanal yang dinyatakan dengan *Signal to Noise Ratio (SNR)*- yang digambarkan oleh indeks *CQI (Channel Quality Index)*.



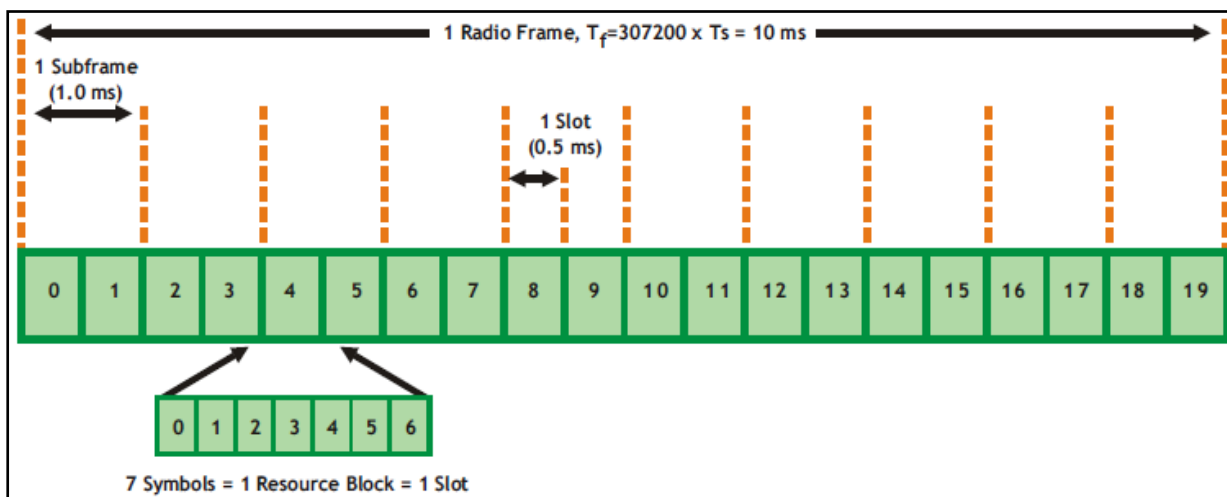
Gambar 3 (a) Ilustrasi modulasi adaptif, (b) Hubungan user dengan eNodeB [2]



Gambar 4 Grafik Hubungan CQI dan SNR [5]

TABEL 1  
INDEX CQI TERHADAP PERUBAHAN JENIS MODULASI DAN CODING RATE [4] [5]

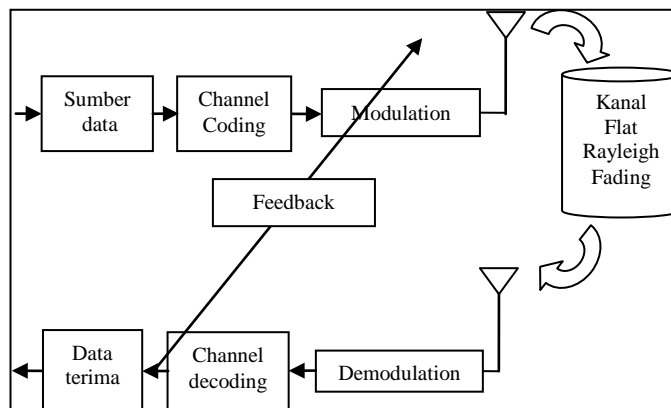
CQI Index	Modulation	Coding rate	Efficiency (bit/Hz)
0	Out of range		
1	QPSK	78/1024	0.1523
2	QPSK	120/1024	0.2344
3	QPSK	193/1024	0.3770
4	QPSK	308/1024	0.6016
5	QPSK	449/1024	0.8770
6	QPSK	602/1024	1.1758
7	16 QAM	378/1024	1.4766
8	16 QAM	490/1024	1.9141
9	16 QAM	616/1024	2.4063
10	64 QAM	466/1024	2.7305
11	64 QAM	567/1024	3.3223
12	64 QAM	666/1024	3.9023
13	64 QAM	772/1024	4.5234
14	64 QAM	873/1024	5.1152
15	64 QAM	948/1024	5.5547



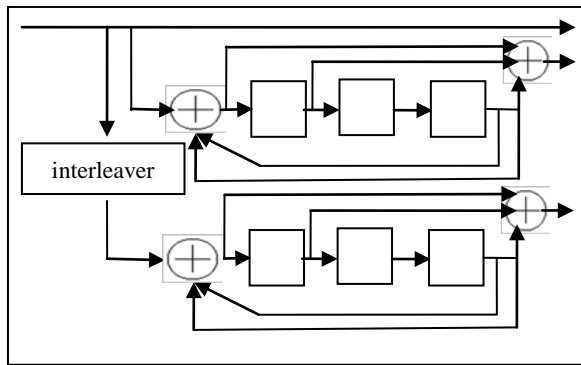
Gambar 5. Framing pada LTE [1]

## II. PERANCANGAN SISTEM

Perencanaan simulasi yang akan digunakan pada penelitian ini, meliputi blok sumber data, blok channel coding, blok modulasi. Blok channel coding menggunakan jenis turbo code dengan coding rate 1/3, recursive systematic convolutional (RSC)  $k=4, (13,10)_8$ . Perencanaan blok modulasi yang nantinya bersifat adaptive, jenis modulasi yang digunakan meliputi : QPSK, 16 QAM, 64 QAM. Secara garis besar, sistem perencanaan simulasi digambarkan sebagai berikut (Gambar 6) :



Gambar 6. Sistem Perencanaan Simulasi



Gambar 7. Encoder Turbo Code,  $r = 1/3$ , RSC  $(13,10)_8$

Physical downlink shared channel (PDSCH) merupakan kanal yang digunakan untuk transmisi data downlink. Dalam pentransmisiannya, PDSCH menggunakan beberapa mode dengan jumlah antenna tertentu, penentuan mode tergantung pada kondisi kanal, mode tersebut meliputi:

1. Mode transmisi 1 : single antenna pada eNodeB
2. Mode transmisi 2 : Transmit diversity
3. Mode transmisi 3 : Single user –MIMO (loop terbuka)
4. Mode transmisi 4 : Single user – MIMO (loop tertutup)
5. Mode transmisi 5 : Multi user – MIMO
6. Mode transmisi 6 : Beamforming (loop tertutup –rank 1)
7. Mode transmisi 7 : Beamforming dengan sinyal referensi dari user tertentu.

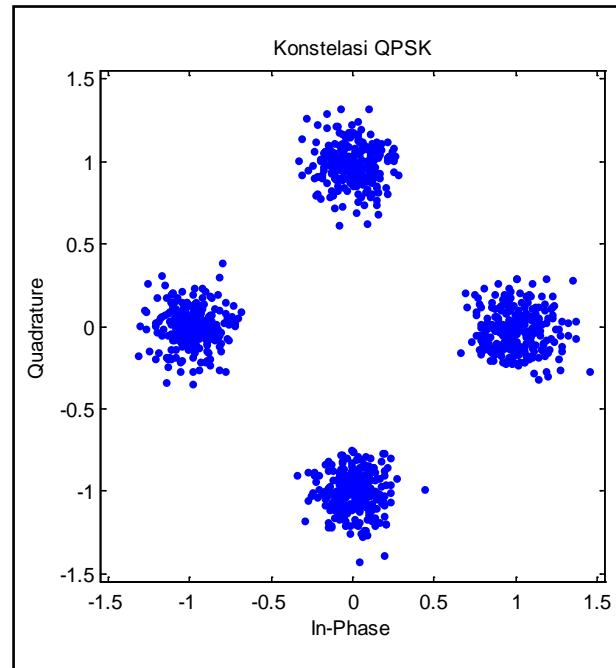
TABEL 2  
PARAMETER SIMULASI

Parameter			
Kanal	Type fading (time varying)	Frame	Teknik Tx
Flat rayleigh	Fading cepat	200	111
		100	111

Teknik transmisi 111 menandakan jumlah antenna  $T_x = 1, R_x = 1$ , mode transmisi 1.

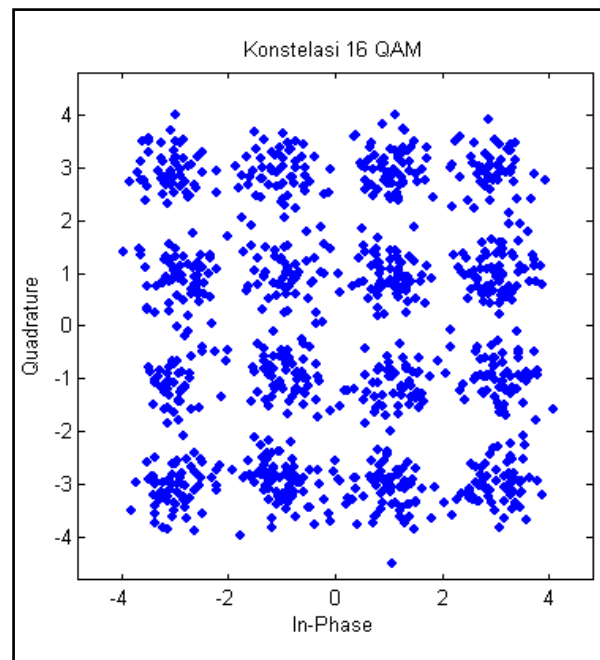
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil konstelasi mapping (inphase & quadrature) modulasi QPSK, 16 QAM, 64 QAM sebagai berikut :



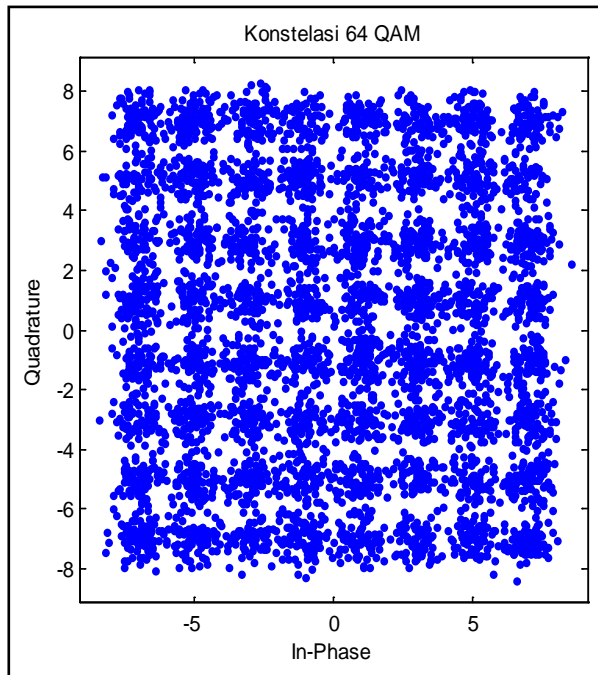
Gambar 8. Konstelasi Modulasi QPSK

Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) mempunyai empat simbol dengan amplitude yang sama tetapi fase yang berlainan. Keempat simbol dibetuk dari dua bit input, empat kondisi/state yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11, digambarkan seperti pada Gambar 8. Setiap kondisi/state berbeda fase  $90^\circ$ .



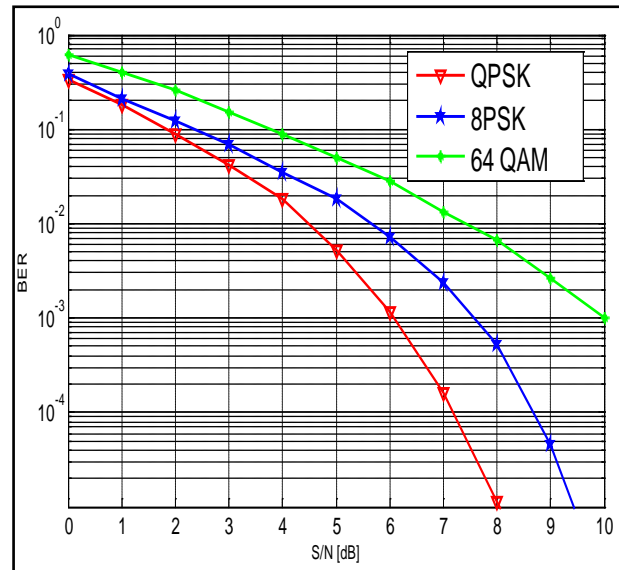
Gambar 9. Konstelasi Modulasi 16 QAM

Modulasi 16 QAM mempunyai 16 simbol dengan amplitude yang sama tetapi fase yang berlainan. Keenambelas simbol dibentuk dari empat bit input, enam belas kondisi/state yang mungkin, yaitu 0000,0001, 0010 dan 0011,0100,0101,0110,0111,1000,1001,1010,1011,1100,1101,1110,1111 digambarkan seperti pada Gambar 9. Setiap kondisi/state berbeda fase  $22,5^\circ$ .



Gambar 10. Konstelasi Modulasi 64 QAM

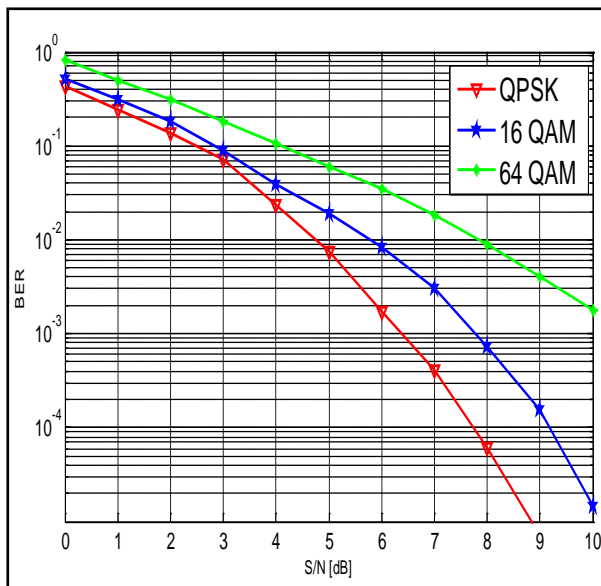
Modulasi 64 QAM mempunyai 64 simbol dengan amplitude yang sama tetapi fase yang berlainan. Keenam puluh empat simbol dibentuk dari enam bit input, enam puluh empat kondisi/state yang mungkin, yaitu 000000 sampai 111111 digambarkan seperti pada gambar 10. Setiap kondisi/state berbeda fase  $5,625^\circ$ .



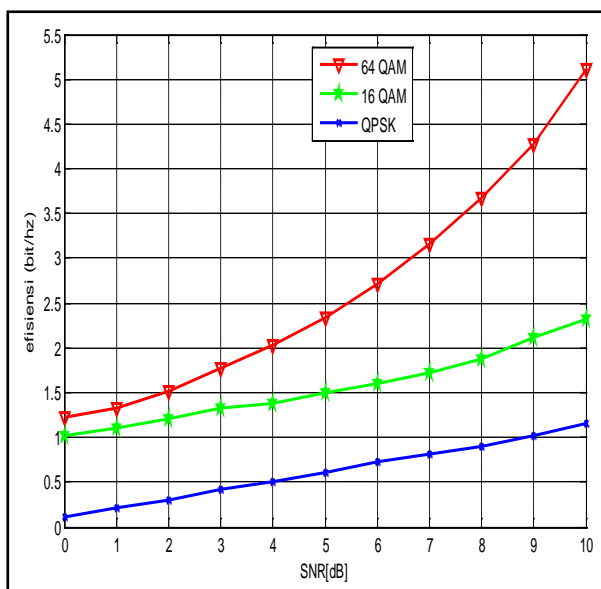
Gambar 11. Grafik BER vs S/N,  $r = 1/3$ , Mode 1, Frame 200

Dari Gambar 11 terlihat bahwa kinerja BER level modulasi yang rendah (QPSK) lebih baik dengan nilai SNR yang sama dibanding dengan level modulasi yang lebih tinggi (16 QAM, 64 QAM). BER  $10^{-3}$ , QPSK lebih hemat sekitar  $\pm 1.8$  dB dibanding 16 QAM, jika dibandingkan 64 QAM akan lebih menguntungkan sekitar  $\pm 4$  dB. Hal ini disebabkan karena pada level modulasi yang lebih rendah efek inter symbol interference (ISI) dari rayleigh flat fading lebih kecil sehingga kinerja BER tinggi, sedangkan di level modulasi yang tinggi (64 QAM) efek ISI akan berdampak lebih besar, hal ini didukung jumlah bit per simbol yang lebih banyak.

Gambar 12 menunjukkan kinerja BER untuk ketiga modulasi (QPSK, 16 QAM, 64 QAM) yang hampir sama pada gambar 11, tetapi pada gambar 12 menerapkan code rate ( $r = 1/2$ ) yang berbeda dengan gambar 11 ( $r = 1/3$ ). Code rate yang lebih tinggi ( $r = 1/2$ ) memberikan hasil/kinerja BER sistem yang kurang bagus jika dibanding code rate yang lebih rendah ( $r = 1/3$ ). Kemampuan deteksi dan koreksi dari code rate yang lebih rendah ( $r = 1/3$ ) lebih baik daripada code rate yang lebih tinggi ( $r = 1/2$ ), akan tetapi efisiensi code rate yang lebih tinggi akan lebih baik jika dibanding code rate yang lebih rendah.



Gambar 12. Grafik BER vs S/N,  $r = 1/2$ , Mode 1, Frame 100



Gambar 13. Grafik Efisiensi vs S/N,  $r = 1/3$ , Mode 1, Frame 200

Gambar 13 menunjukkan efisiensi masing masing modulasi (QPSK, 16 QAM, 64 QAM), jelas bahwa level modulasi yang lebih tinggi akan menghasilkan efisiensi (bit/Hz) yang lebih bagus. Hal ini juga didukung dari data sebelumnya pada tabel 1. Modulasi 64 QAM bisa menghasilkan efisiensi sekitar 5,2 bit/Hz untuk nilai SNR 10 dB.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penerapan modulasi dan code rate adaptif (link adaptation) sangat berpengaruh dalam pencapaian target throughput sistem.
2. Modulasi level rendah (QPSK) menghasilkan kinerja BER sistem lebih baik dibanding modulasi level tinggi (64 QAM), akan tetapi menghasilkan efisiensi simbol yang rendah.
3. Modulasi level yang tinggi (64 QAM) menghasilkan efisiensi sistem lebih baik, hal ini juga didukung jumlah bit per simbol yang lebih banyak daripada level modulasi yang rendah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anritsu, "LTE Resource Guide", <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36series.htm>.
- [2] Gwanmo Ku, "Overview of AMC in LTE", Adaptive Signal Processing and Information Theory Research Group, 2012
- [3] Juan J. Sánchez, D. Morales-Jiménez, G. Gómez, J. T. Enbrambasaguas, "Physical Layer Performance of Long Term Evolution Cellular Technology", IST Conference, 2007
- [4] [Mohammad T. Kawser, Nafiz Imtiaz Bin Hamid, Md. Nayeemul Hasan, M. Shah Alam, M. Musfiqur Rahman, "Downlink SNR to CQI Mapping for Different Multiple Antenna Techniques in LTE", International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 2, No. 5, September 2012
- [5] Tshiteya Dikamba, "Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE)", Wireless and Mobile Communication (WMC) Group-Delft University of Technology, 2011