

ANALISIS PENGARUH PERGERAKAN *USER* TERHADAP PERFORMANSI *LONG TERM EVOLUTION* (LTE)

Fajrul Ade Farooqi NIM. 1150603011110-40

Dosen Pembimbing: Dwi Fadilla Kurniawan, S.T., M.T., Ali Mustofa, ST., MT.

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini khususnya komunikasi bergerak telah memasuki standar yang melebihi teknologi generasi ketiga (3G). Standar teknologi komunikasi bergerak yang saat ini banyak digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh 3GPP (*the 3rd Generation Partnership Project*). Ada beberapa varian standar 3GPP, salah satunya yaitu 3GPP release 8 atau *Long Term Evolution* (LTE). Akan tetapi ada permasalahan yang diakibatkan saat pentransmisi sinyal, pada umumnya sinyal yang ditransmisikan akan mengalami perubahan ketika melalui jalur propagasi menuju penerima. Jalur itu disebut dengan lintasan jamak (*multipath*). Ditambah lagi dengan adanya pergerakan *user* yang bergerak menjauhi eNodeB akan menyebabkan pergeseran frekuensi.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi LTE yang bergerak menjauhi eNodeB dengan kecepatan yang berbeda yaitu 100 km/jam, 150km/jam dan 200 km/jam, ditinjau dari parameter sistem yang meliputi *Path Loss*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energy Bit to Noise Ratio* (Eb/No) dan *Bit Error Rate* (BER)

Untuk mengetahui proses pengaruh dari kecepatan *user* dengan cara menghitung frekuensi *doppler* dengan asumsi *user* menjauhi eNodeB dengan kecepatan yang berbeda dan dibutuhkan parameter-parameter berupa *pathloss*, *SNR*, *Eb/No*, *BER*. Dalam pengukuran *pathloss* digunakan metode *walfisch-ikegami*.

Pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi *Long Term Evolution* (LTE) ada dan bernilai kecil jika dibandingkan dengan gelombang elektromagnetik. Nilai *pathloss* dalam hal ini digunakan dalam kondisi urban dengan metode *walfisch-ikegami* dimana pengaruh jarak yang semakin jauh akan menyebabkan nilai *pathloss* semakin besar. Hasil perhitungan menunjukkan kecepatan *user* juga berpengaruh pada nilai *bandwidth* sistem, semakin cepat laju pengguna maka *bandwidth* sistem akan semakin besar dan *bandwidth* terbesar dikecepatan 200 km/jam dan di modulasi 16-QAM. Nilai SNR juga berpengaruh pada kecepatan dan jarak, membuat nilai SNR berubah semakin kecil, sedangkan kecepatan pengguna berpengaruh terhadap nilai SNR, dimana nilai SNR semakin kecil seiring bertambahnya kecepatan pengguna. Sedangkan pada nilai BER dipengaruhi oleh jarak, semakin jauh jarak antara eNodeB maka akan semakin besar nilai BER, nilai BER terbesar pada kecepatan 200 km/jam dan pada teknik modulasi 64-QAM.

Kata Kunci : LTE, Efek Doppler, Pathloss, SNR, Eb/No, BER

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini khususnya komunikasi bergerak telah memasuki standar yang melebihi teknologi generasi ketiga (3G). Standar teknologi komunikasi bergerak yang saat ini banyak digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh 3GPP (*the 3rd Generation Partnership Project*). Ada beberapa varian standar 3GPP, salah satunya yaitu 3GPP release 8 atau *Long Term Evolution* (LTE).

LTE berevolusi dari sistem 3GPP yang sebelumnya dikenal sebagai teknologi UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). LTE mempunyai kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*-nya, memiliki efisiensi spektrum yang tinggi serta *latency* yang rendah. Sistem ini memiliki standar *bandwidth* mulai 1,4 MHz sampai 20 MHz..[Erik Dahlman, 2008:278]. Selain itu LTE menggunakan standar *air interface* yang berbeda

dari teknologi sebelumnya, yaitu menggunakan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*. OFDMA merupakan teknik *multi carrier* yang membagi *bandwidth* kanal yang akan dimanfaatkan oleh sejumlah *carrier*, dan tiap *carrier* dimodulasi dengan kecepatan rendah. Sistem komunikasi modern lainnya yaitu teknik komunikasi SC-FDMA (*Single Carrier Frekuensi Division Multiple Access*) menggunakan modulasi *single carrier*. Secara umum sistem OFDMA dan SCFDMA sama, tetapi perbedaannya adalah sistem SC-FDMA menggunakan tambahan operasi FFT di *transmitter*-nya dan IFFT di *receiver*-nya.

LTE merupakan sistem komunikasi nirkabel yang menggunakan udara sebagai media transmisinya. Pada umumnya sinyal yang ditransmisikan akan mengalami perubahan ketika melalui jalur propagasi menuju penerima. Jalur itu disebut dengan lintasan jamak (*multipath*). Adanya *multipath* ini sinyal yang

dikirim dapat diterima meskipun lintasan terhalang, tetapi disamping itu dengan adanya *multipath* kondisi lingkungan akan selalu berubah-ubah, hal ini sangat mempengaruhi pada penerimaan sinyal pada penerima, ditambah dengan posisi penerima yang bergerak yang dapat mengakibatkan timbulnya *fading*. Meskipun LTE telah menggunakan teknologi *multiple access* OFDMA dan SC-FDMA yang memiliki kemampuan untuk mengurangi masalah *multipath fading*, pada kenyataannya *multipath fading* selalu terjadi pada komunikasi bergerak yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinyal. Oleh karena itu tetap saja akan mempengaruhi performansi dari LTE. Pada skripsi ini akan membahas seberapa besar pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi LTE yang bergerak menjauhi eNodeB dengan kecepatan yang berbeda. Pembahasan yang dilakukan meliputi analisis terhadap beberapa parameter performansi LTE yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER).

II. Dasar Teori

2.1 Long Term Evolution (LTE)

LTE berevolusi dari sistem 3GPP yang sebelumnya dikenal sebagai teknologi UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). LTE mempunyai kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*-nya, memiliki efisiensi spektrum yang tinggi serta *latency* yang rendah. Sistem ini memiliki standar bandwidth mulai 1,4 MHz sampai 20 MHz. [Erik Dahlman, 2008:278]. Selain itu LTE menggunakan standar *air interface* yang berbeda dari teknologi sebelumnya, yaitu menggunakan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*.

2.2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OFDMA merupakan suatu teknologi *multiple access* yang dikembangkan dari teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Pada OFDMA di periode waktu tertentu, kanal dapat melayani *multiple user* karena dalam satu subcarrier diperbolehkan diduduki oleh satu atau lebih *user* yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. [3] Meskipun OFDMA adalah hasil pengembangan dari OFDM, kedua teknik ini memiliki perbedaan. Perbedaannya adalah OFDM bukan merupakan teknik *multiple access* melainkan suatu teknik modulasi yang menciptakan banyak aliran data agar

dapat digunakan oleh *user* yang berbeda, sedangkan OFDMA merupakan teknik *multiple access* yang memungkinkan banyak *pengguna* berbagi dalam bandwidth yang sama. (Srikanth,2007)

2.2 Model Propagasi

Propagasi adalah proses perambatan gelombang elektromagnetik dari suatu tempat ke tempat lain. *Fading* merupakan komponen utama yang dapat mengganggu performansi sistem. Model propagasi gelombang dilatar belakangi oleh konsep dari dua antena (pemancar dan penerima) pada udara bebas. Model propagasi secara umum dikelompokkan menjadi tiga, yaitu model empirik, deterministik dan stokastik. Pada penelitian ini, model propagasi yang digunakan adalah *Walfisch-Ikegami* yang termasuk dalam model empirik. Model Propagasi ini dapat digunakan pada frekuensi 800 MHz – 2000 MHz dan tinggi antena *transmitter* mencapai 50 m dan untuk jarak mencapai 5 km.

Untuk perhitungan nilai *pathloss* dalam kondisi *non light of sight* (NLOS) dengan persamaan (1) :

$$PL_{NLOS} = 32.4 + 20 \log (f) + 20 \log (d) + L_{rts} + L_{ms} \quad (1)$$

f = frekuensi (MHz) 1800MHz

d = jarak (1 km – 5 km)

L_{rts} = rugi-rugi difraksi dan *scatter* antara atap gedung dan jalan

$$= -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log (h - h_m) + L_{ori}(-10 + 0,345 \Phi, \text{ untuk } 0 \leq \Phi \leq 35)$$

L_{ms} = rugi-rugi *multi-screen* difraksi

$$= L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b$$

w = lebar jalan (meter)

h = tinggi gedung di sekitar BS dan UE (meter)

b = jarak antar titik tengah gedung disekitar BS dan UE (meter)

2.3 Level Daya Terima (Pr)

Level daya terima adalah besarnya daya yang diterima atau dipancarkan oleh *transmitter* atau *receiver*. Untuk perhitungan level daya terima (Pr) dengan persamaan (2) :

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr \quad (2)$$

Pr = Level Daya Terima (dBm)

P_t = Level Daya Pancar (dBm)

G_t = Gain Antena (dB)

G_r = Gain Antena Penerima (dB)

PL = *Pathloss* (dB)

G_{kt} = Redaman Kabel sisi eNodeB (dB)

G_{kr} = Redaman Kabel sisi Penerima (dB)

2.4 Parameter Performansi Sistem

A. Efek Doppler

Adanya pergerakan pengguna menyebabkan frekuensi yang diterima tidak sesuai dengan frekuensi yang dipancarkan sesuai dengan nilai frekuensi *Doppler*.

Untuk menghitung nilai Doppler ditunjukkan dalam persamaan (3) :

$$f_d = \left(\frac{c \pm x}{c} \right) f_0 \quad (3)$$

+x bila UE mendekati eNodeB, dan -x bila UE menjauhi eNodeB dimana ($x=vr$)

c = 3×10^8 m/s

x = kecepatan pengguna (km/jam)

f_0 = frekuensi (Hz)

Bandwidth lebar cakupan frekuensi. Untuk menghitung *bandwidth* digunakan persamaan (4) setelah perhitungan *bandwidth* akan ditambah kecepatan pengguna :

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2(1 - \alpha_{cp}) + N - 1]}{(1 - \alpha_{cp}) \cdot N \log_2 M} \quad (4)$$

B_{sistem} = bandwidth sistem (Hz)

R = laju data total (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal

N = jumlah subcarrier

cp = faktor cyclic prefix

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap noise. Untuk menghitung daya *noise* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) :

$$N_o = 10 \log_{10} (k \times T \times B_{sistem}) + NF \quad (5)$$

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

T = suhu absolute (300 K)

NF = *noise figure* (7 dB)

B = *bandwidth* sistem (Hz)

Setelah menghitung daya *noise*, maka akan dilanjutkan dengan menghitung persamaan (6) :

$$SNR_{(db)} = P_r \text{ (dBm)} - N_o \text{ (dBm)} \quad (6)$$

SNR = signal to noise ratio (dB)

P_r = daya yang diterima oleh receiver (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan penambahan cyclic prefix diperoleh dari persamaan (7) :

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{cp}) SNR \quad (7)$$

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

SNR = signal to noise ratio (dB)

α_{cp} = faktor cyclic prefix

b. Bit Error Rate (BER)

Merupakan banyaknya bit yang salah dalam pentransmisi sejumlah bit. Nilai BER yang diinginkan sekecil mungkin agar diperoleh kualitas yang baik. Perhitungan nilai BER membutuhkan parameter nilai laju data, *bandwidth* sistem, SNR sistem dan E_b/N_o . Dari namanya, E_b/N_o dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per bit terhadap noise. Perhitungan nilai E_b/N_o dijelaskan dalam Persamaan (8) :

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR_{sistem} + 10 \log_{10} \frac{B}{R} \quad (8)$$

SNR = signal to noise ratio sistem (dB)

B_{sistem} = bandwidth sistem (Hz)

R = laju data total (bps)

N = jumlah subcarrier

Setelah menghitung nilai E_b/N_o maka akan dihitung nilai BER dengan persamaan (9), (10) :

$$1. P_{b, QPSK} = Q \left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_o}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \quad (9)$$

$$2. M, QAM = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M \log_2 M}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1) N_o}} \right) \quad (10)$$

III. Metodologi Penelitian

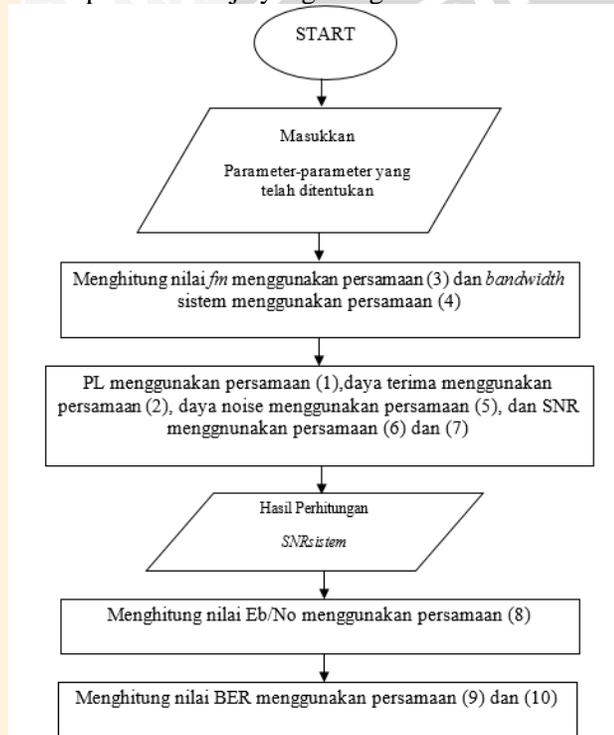
Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat perhitungan dan analisis, yaitu perhitungan dan analisis dari pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi *Long Term Evolution* (LTE). Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi *Long Term Evolution* (LTE). Parameter performansi yang dikaji meliputi *path loss*, SNR, E_b/N_o , dan BER.

Studi literatur ini dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi *Long Term Evolution* (LTE). Studi literatur ini yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter-parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah

mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* Matlab R2015a untuk mempermudah dalam proses perhitungan. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi-performansi yang meliputi path loss, SNR, Eb/No, BER.

Kecepatan pengguna dengan kecepatan 100 km/jam, 150 km/jam dan 200 km/jam yang bergerak menjauhi eNodeB dan jarak eNodeB terhadap *user equipment* yang divariasikan mulai dari 1 km – 5 km dengan spasi jarak sebesar 1 km. Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan :



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan

IV. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini penulis akan membahas dan melakukan analisis dan perhitungan mengenai pengaruh pergerakan *user* terhadap performansi *Long Term Evolution* (LTE) yang bergerak menjauhi eNodeB. Metode yang dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditentukan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program Matlab R2015. Analisis

yang dilakukan meliputi analisis parameter performansi LTE, yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER). Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

LTE menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Acces* (OFDMA). Pada penelitian ini, transmisi data dilakukan pada sisi downlink, dan pada kanal *bandwith* 10 MHz. Laju data pada kanal *bandwith* 10 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan ditujukan pada tugas akhir ini, yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

Kecepatan pengguna yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan bergerak dengan kecepatan 100 km/jam, 150 km/jam dan 200 km/jam yang bergerak menjauhi eNodeB, sedangkan jarak eNodeB dan *user* dibuat bervariasi mulai dari 1 km – 5 km dengan spasi jarak 1 km. Perhitungan menggunakan teknik modulasi yang berbeda-beda pada kecepatan yang berbeda dan jarak yang berbeda.

Sistem OFDMA dapat menjaga setiap *subcarrier* yang satu dengan yang lain agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya interferensi (ISI dan ICI) pada sistem, dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP). *Cyclic prefix* (CP) juga dapat menghilangkan *delay spread* yang terjadi antar data yang saling tumpang tindih.

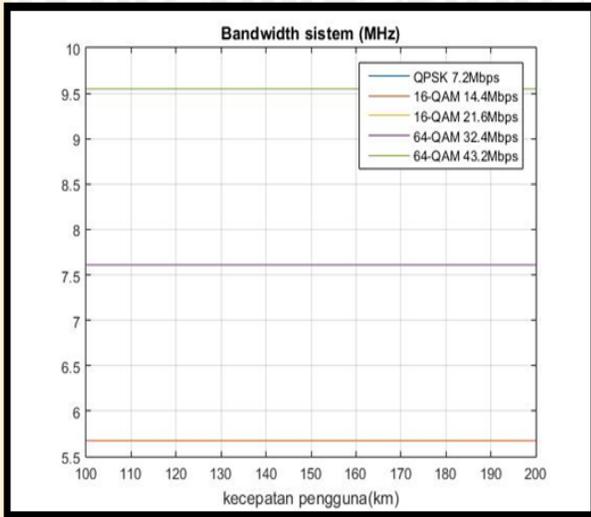
Parameter *bandwidth channel* dan FFT yang digunakan adalah 10 MHz dan untuk FFT 1024. Untuk parameter laju data pada kanal *bandwidth* 10 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK 7,2 MHz, 16-QAM 14,4 MHz dan 21,6 MHz, 64-QAM 32,4 MHz dan 43,2 MHz.

A. Analisis Bandwidth Sistem dengan Teknik Modulasi yang Berbeda yang telah ditambahkan Frekuensi Doppler

Bandwidth lebar cakupan frekuensi. Untuk menghitung *bandwidth* digunakan persamaan (4).

Hubungan *bandwidth* dan kecepatan pengguna dengan menggunakan teknik modulasi QPSK ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan perhitungan didapat semakin cepat pergerakan pengguna, maka semakin besar nilai *bandwidth*

sistem.



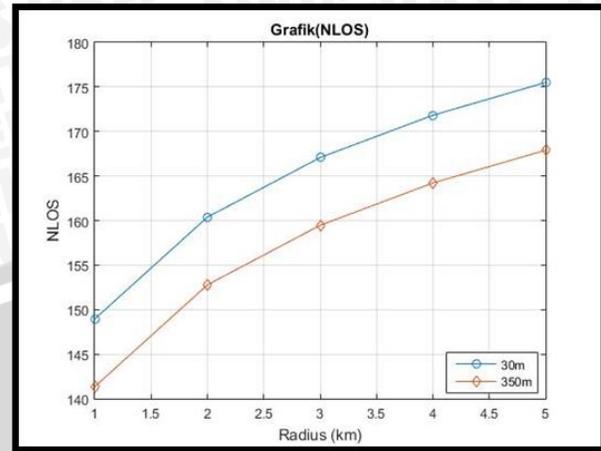
Gambar 2. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna terhadap Bandwidth Sistem dengan Laju Data Berbeda

Berdasarkan tabel dapat ditunjukkan bahwa kecepatan pengguna berpengaruh terhadap nilai bandwidth sistem. Dimana semakin cepat pergerakan pengguna akan menyebabkan bandwidth sistem semakin besar. Sedangkan pengguna modulasi berpengaruh terhadap total laju data dan banyak jumlah bit dalam satu simbol. Semakin besar laju data maka semakin besar pengguna bandwidth, begitu pula sebaliknya.

Kecepatan pengguna yang disimulasikan dalam skripsi ini adalah 100 km/jam, 150 km/jam, 200 km/jam. Nilai bandwidth terbesar pada kecepatan 200 km/jam dengan teknik modulasi 64-QAM.

B. Analisis Pathloss (NLOS)

Pada perhitungan kondisi pathloss NLOS penulis melakukan analisis, dimana keadaan tinggi antenna eNodeB lebih tinggi dari tinggi gedung disekitar antenna ($h_b > h$). Untuk hasil perhitungan nilai pathloss NLOS kondisi $h_b > h$ dapat dilihat pada gambar (3). Dengan menggunakan $b=50$ m dan $b=350$ m

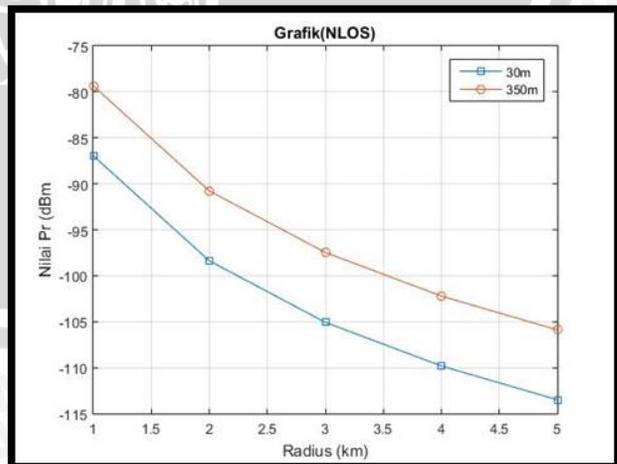


Gambar 3 Grafik Perbandingan nilai pathloss NLOS kondisi $h_b > h$ untuk ketinggian gedung disekitar eNodeB (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar eNodeB (b) yang berbeda

Dapat dilihat bahwa nilai pathloss dipengaruhi oleh jarak antara eNodeB dengan UE, ketinggian gedung disekitar eNodeB dan jarak antara titik tengah gedung disekitar eNodeB. Hal ini dapat dilihat pada grafik pathloss NLOS kondisi $h_b > h$ nilai eNodeB paling rendah pada jarak antar titik tengah gedung disekitar eNodeB adalah ($b=350$ m).

C. Analisis Nilai Level Daya Terima

Pada penelitian ini penulis melakukan analisis nilai level daya terima untuk kondisi NLOS, untuk kondisi NLOS penulis menggunakan keadaan $h_b > h$, untuk keadaan $h_b > h$ penulis melakukan analisis terhadap nilai level daya terima berdasarkan ketinggian gedung disekitar $b=50$ m dan $b=350$ m



Gambar 4. Grafik nilai level daya terima $h_b > h$ untuk ketinggian gedung disekitar eNodeB dan jarak antara titik tengah gedung disekitar eNodeB yang berbeda

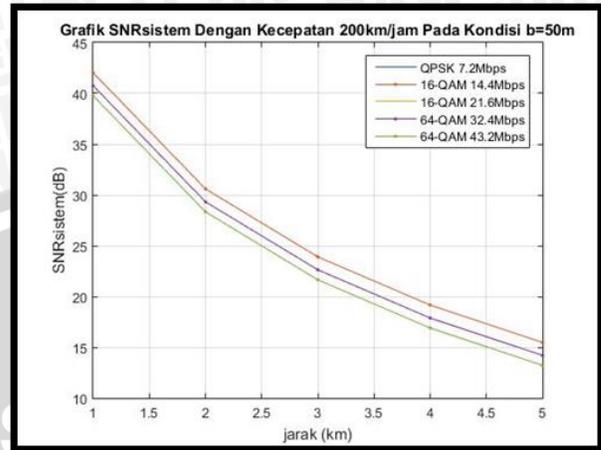
Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa jarak dan gedung disekitar, semakin rendah ketinggian gedung disekitar eNodeB, maka semakin bagus nilai level daya terima yang dihasilkan dan semakin besar jarak antara antenna titik tengah gedung maka nilai level daya terima juga semakin besar.

D. Analisis Nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

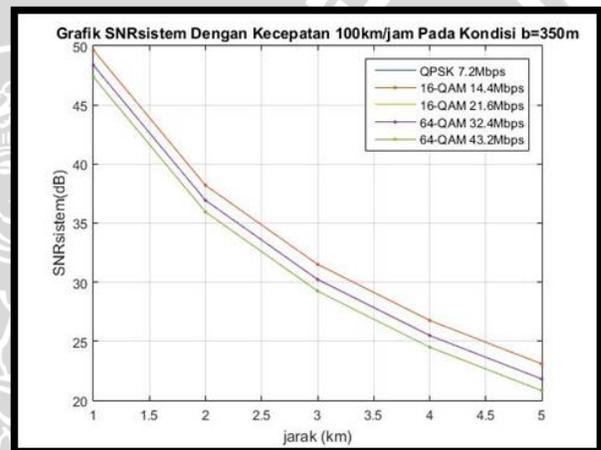
Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap noise. SNR digunakan ntuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan.

Pada perhitungan SNR ini penulis menggunakan teknik modulasi berbeda QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Dengan keadaan tinggi antenna eNodeB lebih tinggi dari tinggi gedung disekitar antenna ($h_b > h$) .Setelah melakukan perhitungan dengan persamaan (5), (6), dan (7) maka didapat hasil seperti gambar (5-11)

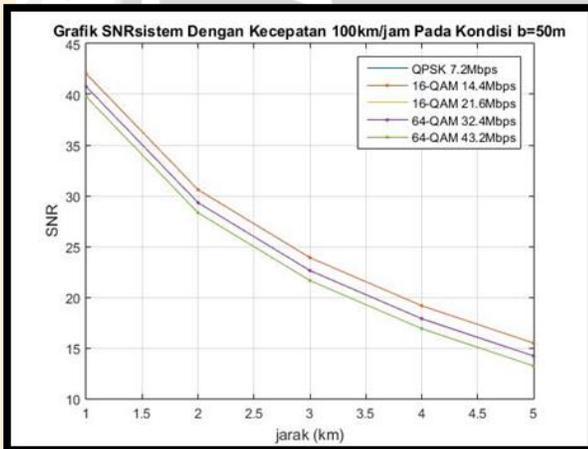
Gambar 6. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 150 km/jam, b=50



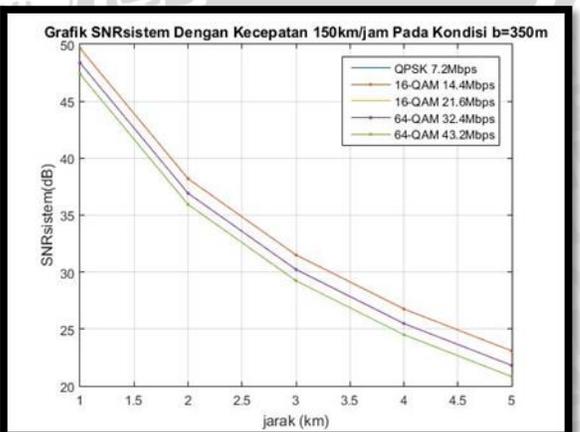
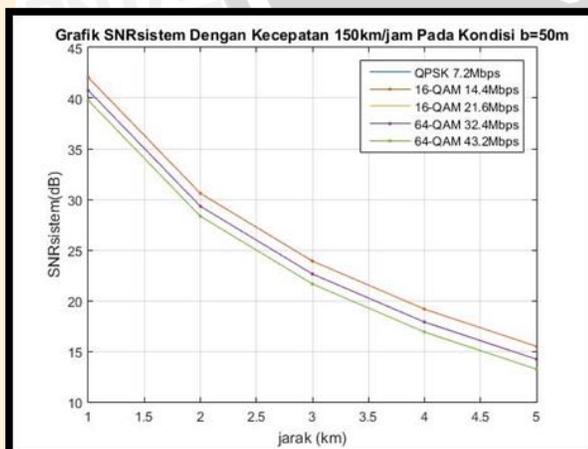
Gambar 7. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 200 km/jam, b=50



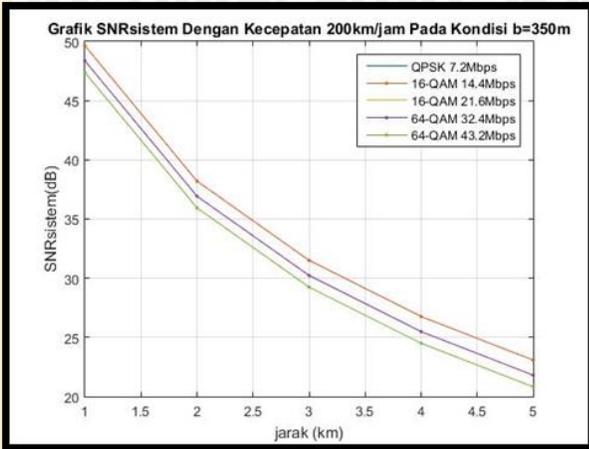
Gambar 8. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 100 km/jam, b=350



Gambar 5. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 100 km/jam, b=50



Gambar 9. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 150 km/jam, b=350



Gambar 10. Grafik SNR_{sistem} Kecepatan 200 km/jam, b=350

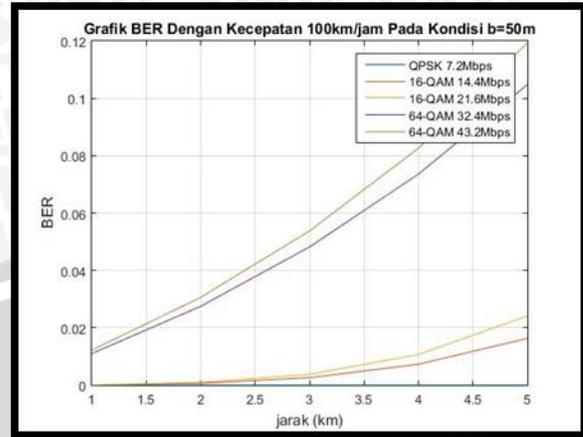
Berdasarkan hasil perhitungan maka didapat hasil bahwa:

- Semakin jauh jarak eNodeB dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
- Sedangkan kecepatan pengguna berpengaruh terhadap nilai SNR, dimana nilai SNR semakin kecil seiring bertambahnya kecepatan pengguna
- Nilai SNR dipengaruhi oleh ketinggian gedung disekitar eNodeB dan jarak antara titik tengah gedung disekitar eNodeb. Hal ini dapat dilihat pada grafik (5-11).
- Nilai SNR dipengaruhi oleh Teknik modulasi dengan kecepatan laju data yang berbeda. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi 64-QAM dengan nilai laju data/code rate yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil.

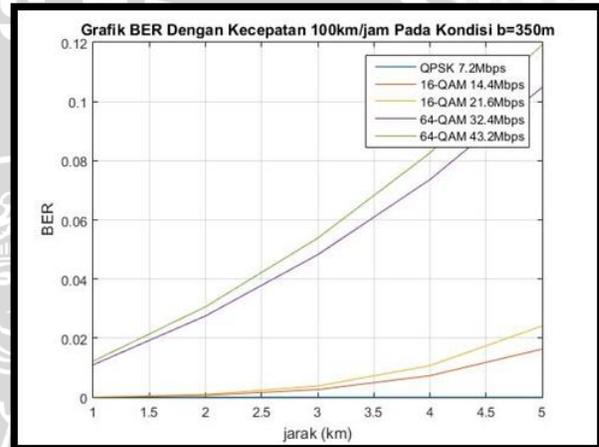
E. Analisis Nilai Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan banyaknya bit yang salah dalam pentransmisiian sejumlah bit. Nilai BER yang diinginkan sekecil mungkin agar diperoleh kualitas yang baik. Perhitungan nilai BER membutuhkan parameter nilai laju data, *bandwidth* sistem, SNR sistem dan E_b/N_o . Pada perhitungannya, digunakan teknik modulasi modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

Perhitungan E_b/N_o dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (8). Setelah di dapatkannya nilai E_b/N_o , maka perhitungan BER dapat dilakukan sesuai dengan Persamaan (9) dan (10)



Gambar 11. Grafik BER Kecepatan 100 km/jam, b=50



Gambar 12. Grafik BER Kecepatan 100 km/jam, b=350

Berdasarkan tabel dan grafik diatas bahwa nilai BER dipengaruhi oleh jarak eNodeB dan *user equipment*, semakin jauh maka nilai BER akan semakin besar. Nilai BER juga dipengaruhi penggunaan teknik modulasi. Teknik modulasi 64-QAM menghasilkan nilai BER yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM.

V. Penutup

A. Kesimpulan

1. Perubahan frekuensi yang diakibatkan efek *doppler* ada dan bernilai kecil jika dibandingkan dengan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)
2. Nilai bandwidth sistem dipengaruhi oleh kecepatan pengguna, dimana semakin cepat pergerakan pengguna maka bandwidth sistem semakin besar. Nilai bandwidth sistem terbesar pada saat kecepatan 200 km/jam, yaitu 9.548399833Mbps.

3. Pada nilai SNR, semakin jauh jarak eNodeB dan UE maka SNR akan semakin kecil. Begitu pula dengan kecepatan pengguna, semakin tinggi kecepatan pengguna nilai SNR juga semakin kecil. Pada kecepatan 200 km/jam dan $h_b > h, b = 50$ m nilai SNR 13.2124 dB lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan 200 km/jam dan $h_b > h, b = 350$ m, yaitu 20.8182 dB.
4. Nilai rugi-rugi propagasi (*path loss*) semakin meningkat seiring bertambahnya jarak antara UE dan eNodeB pada kondisi NLOS. Pada kondisi NLOS *Pathloss* $h_b > h$ dengan Nilai $b = 50$ m dengan jarak 5 km nilai NLOS semakin besar, yaitu 175.5032 dB.
5. Pada nilai BER terbesar pada kecepatan 200 km/jam dan pada teknik modulasi 64-QAM ini menandakan dengan meningkatnya nilai BER maka semakin banyak bit yang salah dalam penransmisian dari pemancar dan penerima
6. Nilai level daya terima, SNR dan BER dipengaruhi oleh kecepatan, jarak ketinggian gedung disekitar dan teknik modulasi dengan kecepatan laju data yang berbeda.

B. Saran

Saran yang diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Skripsi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan model propagasi yang berbeda dan melakukan perhitungan efek *doppler* dengan *user* mendekati eNodeB.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Ben. 2013. *LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks: Channel Modelling and Propagation*. United Kingdom: Wiley&Sons. Ltd.
- Dahlman, Erik. 2008. *3G Evolution (LTE & HSPA)*. USA : Charon Tec Ltd.
- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband (WiMAX and LTE)*. USA : Berkeley, CA.
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- F. Khan. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. USA: Cambridge University Press.

Holma, Harry & Toskala, Antti. 2009. *LTE for UMTS*. United Kingdom: Wiley & Sons, LTD.

Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.