

ANALISIS NILAI LEVEL DAYA TERIMA MENGGUNAKAN MODEL WALFISCH-IKEGAMI PADA TEKNOLOGI LONG TERM EVOLUTION (LTE) FREKUENSI 1800 MHz

Achmad Reza Irianto¹, M. Fauzan Edy Purnomo. S.T., M.T.² Endah Budi Purnomowati, Ir., M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: arez.13.92@gmail.com

Abstrak--Kebutuhan akan teknologi komunikasi yang handal baik dalam penyajian kecepatan laju data maupun kualitas pelayanan semakin meningkat, datangnya teknologi Long Term Evolution (LTE) menjadi solusi untuk para konsumen yang menginginkan kecepatan dalam mengakses data, dimana LTE merupakan teknologi yang dikembangkan oleh 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Karakteristik yang paling berpengaruh untuk menentukan performansi sebuah sistem komunikasi adalah nilai level daya terima. Pada penelitian ini penulis menggunakan model propagasi Walfisch-ikegami untuk mengetahui nilai pathloss.

Jarak antara BS dan UE mempengaruhi nilai level daya terima, ketinggian gedung disekitar BS, jarak antar titik tengah gedung disekitar BS dan teknik modulasi juga berpengaruh terhadap nilai level daya terima yang dihasilkan dan secara otomatis berhubungan juga dengan nilai SNR dan BER yang dihasilkan, untuk kondisi $hb > h$ dengan teknik modulasi 64 QAM $\frac{3}{4}$ serta parameter $h=40$ m, $b=30$ m radius BS dengan UE yang disarankan adalah $< 3,97$ km, untuk teknik modulasi 64 QAM $\frac{4}{5}$ dengan parameter $h=40$ m, $b=30$ m radius BS dengan UE yang disarankan $< 3,44$ km dan untuk teknik modulasi 64 QAM $\frac{4}{5}$ dengan parameter $h=30$ m, $b=500$ m radius BS dengan UE yang disarankan $< 4,77$ km. sedangkan untuk tidak disarankan untuk merancang suatu BTS mobile LTE dengan kondisi $hb < h$ karena radius yang dapat dijangkau sangat kecil, kecuali menggunakan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dengan parameter $h=60$ m, $b=500$ m karena pada kondisi tersebut radius yang dijangkau bisa mencapai 5 km.

Kata Kunci— Level Daya Terima, Walfisch-Ikegami, model propagasi, LTE

I. Pendahuluan

Perkembangan di bidang telekomunikasi saat ini sangat pesat, khususnya dalam komunikasi digital. Kebutuhan akan teknologi komunikasi yang handal baik dalam penyajian kecepatan laju data maupun kualitas pelayanan metode akses semakin meningkat. Kebutuhan akan akses data yang cepat sangat penting terutama sejak berkembangnya teknologi seluler dan meluasnya pengguna internet dikalangan pelaku bisnis maupun pelajar. Datangnya teknologi Long Term Evolution (LTE) menjadi solusi untuk para konsumen yang menginginkan kecepatan dalam mengakses data.

Karakteristik yang paling berpengaruh untuk menentukan *performance* sebuah sistem komunikasi adalah nilai level daya terima, karena nilai inilah yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan *coverage area* dari sebuah pemancar (BTS), untuk menentukan nilai level daya terima dari sebuah *base station* hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui nilai *path loss* pada daerah tersebut, dimana nilai *path loss* dapat diprediksi menggunakan model propagasi.

Faktor penting yang harus dipertimbangkan ketika

memilih suatu model propagasi yang akan digunakan adalah *reuseability* atau kegunaan dan kesesuaian dari parameter-parameter yang akan diprediksi. [1]

Ada tiga macam model propagasi yang biasanya digunakan dalam pengukuran, antara lain model empirik, deterministik dan stokastik, dimana model empirik merupakan model yang sangat sering digunakan, sedangkan pada teknologi LTE ada beberapa model propagasi empirik yang bisa digunakan seperti halnya model *Standford University Interim* (SUI), ECC3, Okumura Hatta, dan *Walfisch-Ikegami*. [2]

Berdasarkan beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam memilih model propagasi, pada penelitian ini penulis menggunakan model propagasi *Walfisch-Ikegami* untuk melakukan permodelan dan melakukan analisis nilai level daya terima pada teknologi Long Term Evolution (LTE) di daerah *urban*, penulis menggunakan model *Walfisch-Ikegami* karena model propagasi tersebut sangat cocok untuk permodelan di daerah *urban*, dan *range* frekuensi yang digunakan juga sesuai dengan *range* frekuensi pada teknologi LTE.

Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis akan membahas mengenai analisis nilai level daya terima menggunakan model propagasi *Walfisch-Ikegami* agar terwujud performansi suatu jaringan atau *coverage area* dari suatu jaringan LTE yang handal dan berkualitas, dan semoga penelitian ini dapat membantu berbagai operator telekomunikasi dalam merancang suatu jaringan LTE di berbagai wilayah di Indonesia, terutama di daerah urban yang membutuhkan kecepatan dalam mengakses data.

II. Dasar Teori

A. Long Term Evolution (LTE)

LTE merupakan suatu teknologi baru dalam dunia seluler dari 3G ke 4G. Standar basis LTE dikembangkan oleh 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Seiring dengan perkembangan telekomunikasi standar 3GPP mengeluarkan berbagai spesifikasi hingga muncul teknologi LTE pada akhir tahun 2008, di beberapa daerah LTE telah beroperasi pada frekuensi 700 MHz, 1800 MHz, dan 2100 MHz. [3]

B. Model Propagasi

Model propagasi merupakan suatu cara yang digunakan untuk memprediksi kekuatan sinyal yang diterima ketika pemancar dan penerima memiliki halangan pada jalur line-of-sight antara pemancar dengan penerima.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan model propagasi *Walfisch-Ikegami*, model *Walfisch-Ikegami* merupakan model yang paling umum digunakan pada daerah urban. Model propagasi ini dapat digunakan pada frekuensi antara 800-2000 MHz, untuk tinggi antena

transmitter hingga 50 meter dan untuk jarak mencapai 5 km.[4]

Perhitungan nilai *pathloss* kondisi LOS dan NLOS menggunakan model *Walfisch-Ikegami* untuk kawasan *urban* ditentukan dengan persamaan (1) dan (2).[4]

$$PL_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (1)$$

$$PL_{NLOS} = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f + Lrts + Lmsd \quad (2)$$

Keterangan :

- PL = rugi-rugi propagasi (dB)
D = jarak antara *transmitter* BS dengan *receiver* UE (km)
f = frekuensi kerja (MHz)
Lrts = rugi-rugi roof-top-to-street
= $-16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_{mobile} + Lori$
Lmsd = rugi-rugi *multi screen diffraction*
= $Lbsh + ka + kd \log d + kf \log f - 9 \log b$
w = lebar jalan (meter)
 Δh_{mobile} = $h - h_{mobile}$
 Δh_{base} = $h_{base} - h$
h = tinggi gedung di sekitar BS dan UE (meter)
b = jarak antar titik tengah gedung disekitar BS dan UE (meter)

C. Level Daya Terima

Level daya terima adalah besarnya daya yang diterima atau dipancarkan oleh *transmitter* atau *receiver*. Level daya terima merupakan batas daya minimum dari sebuah pemancar yang masih dapat diterima baik oleh user. Secara matematis level daya terima ditentukan berdasarkan grafik level daya terima (Pr), dengan persamaan (3):

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr \quad (3)$$

Keterangan:

- Pr = Level daya terima (dBm)
Pt = Level Daya pancar (dBm)
Gt = Gain antenna BS (dBi)
Gr = Gain antenna UE (dBi)
PL = *Pathloss* (dB)
Gkt = Redaman kabel sisi BS (dB)
Gkr = Redaman kabel sisi UE (dB)

D. Parameter Performansi Sistem

a. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4):

$$SNR = P_r - N_o \quad (4)$$

dengan,

- SNR = *signal to noise ratio* (dB)
 P_r = daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)
 N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk nilai daya *noise* (N_o), dihitung dengan menggunakan persamaan (5):

$$N_o = 10 \cdot \log_{10} (k \cdot T \cdot B) + NF \quad (5)$$

Keterangan :

- N_o = daya *noise* saluran transmisi (J Hz atau watt)
k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
T = temperatur operasi sistem (K)
B = *bandwidth* sistem (Hz)
NF = *Noise figure* (dB)

Bandwidth merupakan lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal OFDMA dalam media transmisi. Untuk menghitung nilai *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* dapat digunakan Persamaan (6):[5]

$$B_{sistem} = \frac{R \cdot (2^{(1-\alpha_{cp})} + N - 1)}{(1-\alpha_{cp})N \log_2 M} \quad (6)$$

Keterangan :

- B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)
R = laju data total (bps)
M = jumlah kemungkinan sinyal
N = jumlah *subcarrier*
 α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan penambahan *cyclic prefix* diperoleh dari Persamaan (7) : [6]

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

dengan,

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

b. Bit Error Rate (BER)

Perhitungan nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai 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) :

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = SNR_{sistem} + 10 \log \frac{B_{sistem}}{R} \quad (8)$$

Keterangan :

- $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ = rasio energi bit terhadap *noise* sistem (dB)
SNR = *signal to noise ratio* sistem (dB)
 B_{sistem} = *bandwidth* sistem (Hz)
R = laju data total (bps)
N = jumlah *subcarrier*

Bit Error Rate (BER) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit error* terhadap total *bit* yang diterima. Besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dituliskan dalam Persamaan (9), (10) dan (11) berikut :

1. QPSK

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

2. 16-QAM

$$P_{b(16-QAM)} = \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3 \log_2(16)}{4(16-1)} \times \frac{E_b}{N_o}} \quad (10)$$

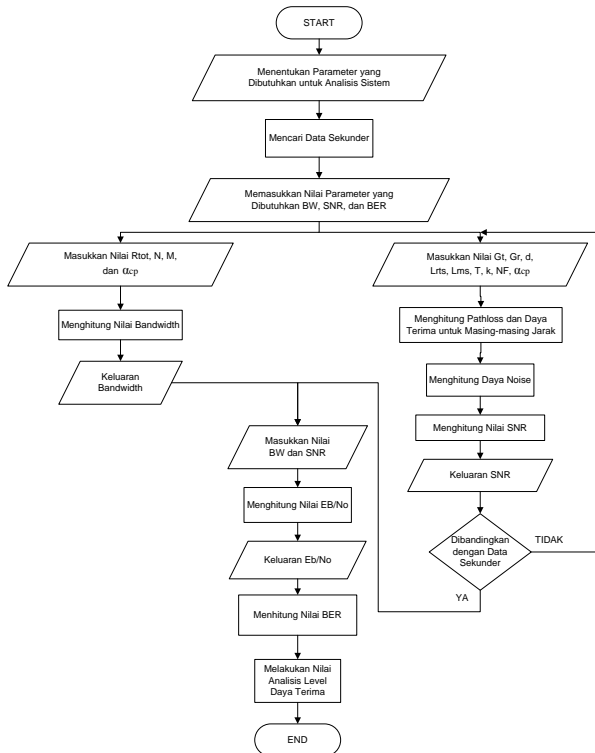
3. 64-QAM

$$P_{b(64-QAM)} = \frac{2(\sqrt{64}-1)}{\sqrt{64} \log_2 M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3 \log_2(64)}{4(64-1)} \times \frac{E_b}{N_o}} \quad (11)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang terdapat pada penelitian ini bersifat analisis mengenai nilai level daya terima sebagai tahapan pertama dalam mendesain suatu jaringan BTS *mobile* LTE. Dimana akan dilakukan analisa perhitungan terhadap nilai level daya terima, SNR, dan BER dengan menggunakan model *Walfisch-Ikegami*. Pada pengujian analisis nilai level daya terima penulis hanya mengamati performansi sistem dari sisi *downlink*. Susunan langkah yang akan dilakukan untuk mendapatkan solusi dari permasalahan dalam penelitian ini, yaitu studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis data, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan ini dapat dilihat pada diagram alir gambar (1).



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan dan Analisis

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dan analisis perhitungan mengenai pengaruh jarak antara BS dengan UE, ketinggian gedung di sekitar BS, jarak antar titik tengah gedung disekitar BS, dan pengaruh teknik modulasi yang digunakan pada kondisi NLOS $hb>h$ dan $hb<h$ berdasarkan parameter jaringan LTE dengan model propagasi *Walfisch-Ikegami* untuk menghitung nilai *pathloss*. Analisis yang akan dilakukan meliputi parameter Nilai Level daya terima, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Bit Error Rate* (BER). Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

LTE menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Pada penelitian ini, transmisi data dilakukan pada sisi *downlink*, dan pada kanal *bandwidth* 10 MHz. Laju data total untuk transmisi *downlink* pada kanal *bandwidth* 10 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Laju Data Berdasarkan Teknik Modulasi yang digunakan

Modulasi	Code Rate	Laju Data Mbps
QPSK	1/2	7.2
16 QAM	1/2	14.4
16QAM	3/4	21.6
64 QAM	3/4	32.4
64 QAM	1	43.2

(LTE forum : 2009)

Parameter yang digunakan dalam menghitung nilai *pathloss* :

Tabel 3. Parameter Perhitungan Nilai Model *Walfisch-Ikegami*

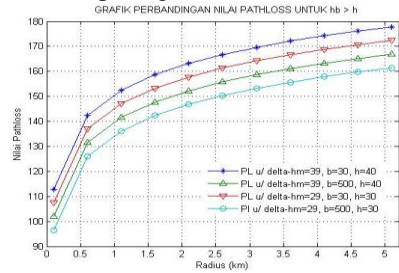
PARAMETER	SIMBOL	NILAI
Jarak Antara Base Station (BS) dengan Mobile Station (MS)	r	0-5000 meter
Jarak Antar Titik Tengah Gedung	b	30 - 1000 meter
Tinggi Antena Base Station (BS)	hb	50 meter
Tinggi Antena Mobile Station (MS)/ User Equipment (UE)	hm	1 - 50 meter
Lebar Jalan	w	15 meter
Selisih Antara Tinggi Antena BS dengan Tinggi gedung disekitar BS	Δhb	variabel
Selisih Antara Tinggi Antena MS dengan Gedung Sekitar	Δhm	variabel
Kecepatan MS	v	0 km
Sudut yang Terbentuk Antara BS dengan MS	ϕ	20° dan 55°
Frekuensi	f	1800 MHz

(Allen, Ben. 301:2013)

A. Analisis Nilai *Pathloss*

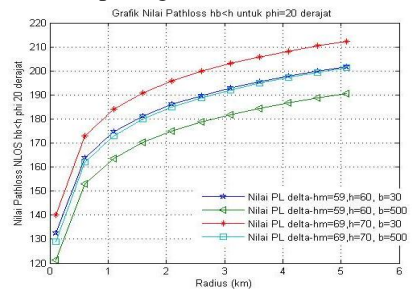
Pada perhitungan kondisi *pathloss* NLOS penulis melakukan analisis terhadap dua keadaan, dimana keadaan pertama penulis melakukan analisis terhadap nilai *pathloss* untuk kondisi tinggi antenna *transmitter*/BS lebih tinggi dari tinggi gedung disekitar antenna BS ($hb>h$), keadaan kedua penulis akan melakukan analisis nilai *pathloss* untuk kondisi antenna *transmitter*/BS lebih rendah dengan gedung disekitar ($hb<h$).

Untuk hasil perhitungan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb>h$ dapat dilihat pada gambar (2).



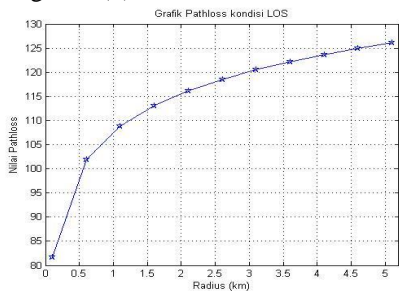
Gambar (2). Grafik Perbandingan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb>h$ untuk ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda

Untuk hasil perhitungan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb<h$ dapat dilihat pada gambar (3).



Gambar (3). Grafik perbandingan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb<h$ untuk ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda

Untuk hasil perhitungan nilai *pathloss* LOS dapat dilihat pada grafik (4).



Gambar (4) Grafik nilai *pathloss* untuk kondisi LOS

Pada gambar (2), (3) dan (4) dapat dilihat bahwa nilai *pathloss* dipengaruhi oleh jarak antara BS dengan UE, ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS. Hal ini dapat dilihat pada grafik *pathloss* NLOS kondisi $hb>h$ nilai *pathloss* paling rendah pada saat ketinggian gedung sekitar ($h=30$ m) dan jarak antar titik tengah gedung disekitar BS ($b=500$ m). sedangkan untuk nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb<h$ nilai *pathloss* paling rendah pada saat ($h=60$ m) dan ($b=500$ m).

B. Analisis Nilai Level Daya Terima

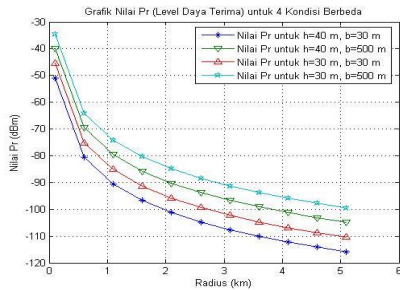
Parameter yang digunakan untuk analisis nilai level daya terima sesuai standard *mobile* LTE dapat dilihat pada tabel (4).[6]

Tabel 4. Parameter Perhitungan Nilai Level Daya Terima

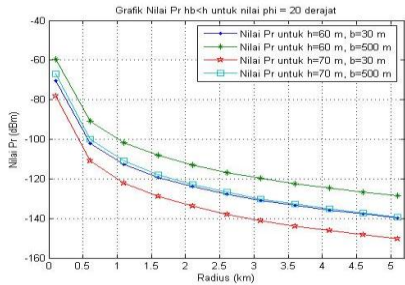
Parameter	Value
Operating Frequency	1800 MHz
Duplex	FDD
Bandwidth	10 MHz
Modulation Technique	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
BS Height	50 meters
MS Height	1 meters
BS Maximum Power Amplifier Power	46 dBm
Mobile Terminal Maximum PA Power	23 dBm
BS Antenna Gain	18 dBi
MS Antenna Gain	0 dBi

(H.Holma & A.Toskala : 2009)

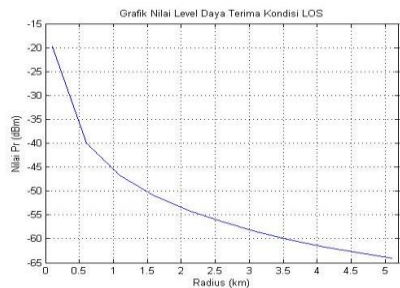
Pada penelitian ini penulis melakukan analisis nilai level daya terima untuk kondisi NLOS dan LOS, untuk kondisi NLOS penulis menggunakan dua keadaan, keadaan pertama $hb > h$, dan keadaan kedua $hb < h$, untuk keadaan $hb > h$ penulis melakukan analisis terhadap nilai level daya terima berdasarkan ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antar titik tengah gedung disekitar BS, dimana untuk nilai $h = 30$ m dan 40 m, dan nilai $b = 30$ m dan 500 m. sedangkan untuk kondisi $hb < h$ nilai h dan b yang digunakan dalam analisis adalah $h = 60$ m dan 70 m, $b = 30$ m dan 500 m.



Gambar 5. Grafik nilai level daya terima $hb > h$ untuk ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS yang berbeda



Gambar 6. Grafik nilai level daya terima $hb < h$ untuk ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS yang berbeda



Grafik 7. Grafik nilai level daya terima untuk kondisi LOS

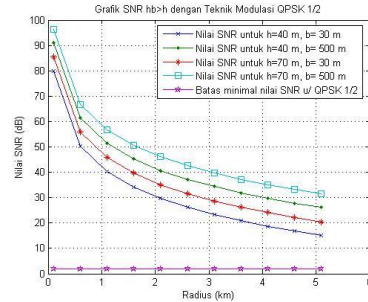
Pada gambar (5), (6) dan (7) dapat dilihat bahwa jarak antara BS dengan UE serta jarak antar titik tengah gedung disekitar BS.

C. Analisis Nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

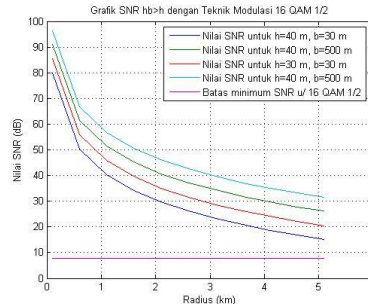
SNR adalah perbandingan antara daya sinyal dengan daya noise. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan.

Pada perhitungan analisis nilai SNR penulis akan menggunakan teknik modulasi QPSK $1/2$, 16 QAM $1/2$, 16 QAM $3/4$, 64 QAM $3/4$, dan 64QAM $4/5$, dengan laju data total yang berbeda-beda untuk masing-masing teknik modulasi yang digunakan, sebelum melakukan analisis terhadap nilai SNR. Untuk mendapatkan nilai SNR sistem setelah penambahan CP dapat dihitung menggunakan persamaan (7).

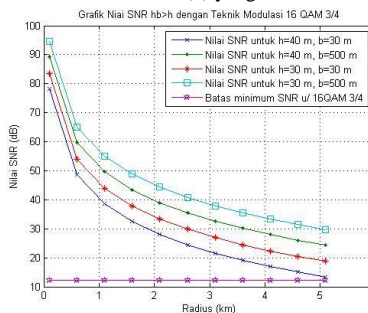
Untuk hasil analisis perhitungan dapat dilihat pada grafik (8-12).



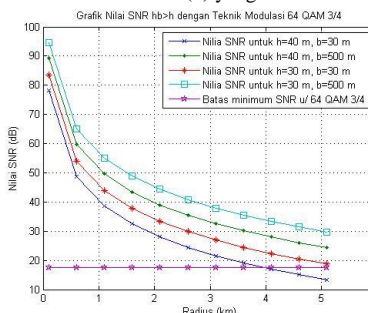
Gambar 8. Grafik nilai SNR modulasi QPSK $1/2$ $hb > h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



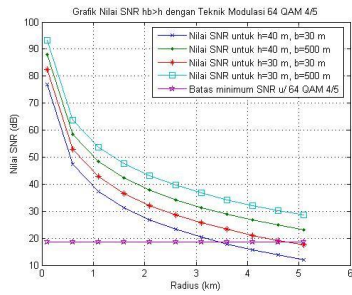
Gambar 9. Grafik nilai SNR modulasi 16QAM $1/2$ $hb > h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



Gambar 10. Grafik nilai SNR modulasi 16 QAM $3/4$ $hb > h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



Gambar 11. Grafik nilai SNR modulasi 64 QAM $3/4$ $hb > h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda

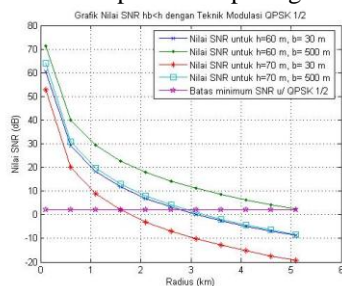


Gambar 12. Grafik nilai SNR modulasi 64 QAM 4/5 $hb>h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda

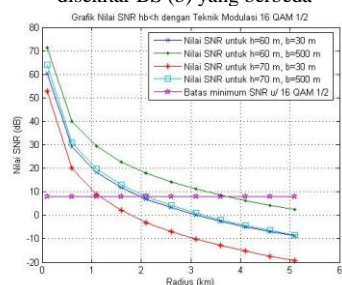
Berdasarkan hasil perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) NLOS untuk $hb>h$ dapat diketahui bahwa :

1. Semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
2. Nilai SNR dipengaruhi oleh ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS. Hal ini dapat dilihat pada grafik (8-12).
3. Nilai SNR dipengaruhi oleh Teknik modulasi dengan kecepatan laju data yang berbeda. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi 16 QAM dengan nilai laju data/code rate yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan laju data. Begitu pula untuk nilai SNR sistem yang menggunakan teknik modulasi 64-QAM.
4. Nilai SNR NLOS kondisi $hb>h$ pada teknik modulasi 64 QAM $\frac{3}{4}$ dengan *minimum SNR requirement* sebesar 17,5 dB dengan parameter $h=40$ m, $b=30$ m hanya mampu menjangkau hingga radius 3,967 km. sedangkan pada teknik modulasi 64 QAM $\frac{4}{5}$ dengan *minimum SNR requirement* sebesar 18,6 dB dengan parameter $h=40$ m, $b=30$ m hanya mampu menjangkau hingga radius 3,44 km, tetapi pada teknik modulasi yang sama dengan parameter $h=30$ m, $b=30$ m dengan standar SNR minimal sebesar 18,6 dB jarak jangkau bisa mencapai 4,77 km.

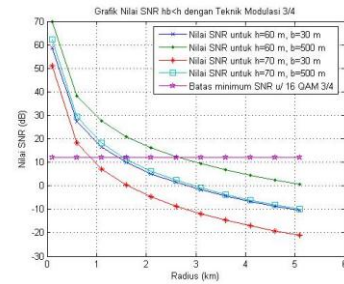
Sedangkan untuk analisis hasil perhitungan nilai SNR NLOS kondisi $hb<h$ dapat dilihat pada gambar (13-17).



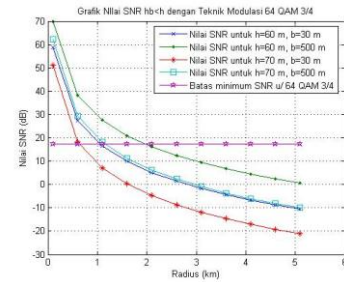
Gambar 13. Grafik nilai SNR modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ $hb<h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



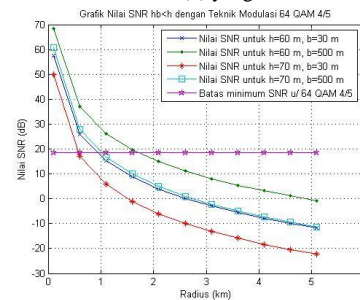
Gambar 14. Grafik nilai SNR modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$ $hb<h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



Gambar 15. Grafik nilai SNR modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$ $hb<h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



Gambar 16. Grafik nilai SNR modulasi 64 QAM $\frac{3}{4}$ $hb<h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda



Gambar 17. Grafik nilai SNR modulasi 64 QAM $\frac{4}{5}$ $hb<h$ dengan ketinggian gedung disekitar BS (h) dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) yang berbeda

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) $hb<h$ dapat diketahui bahwa :

1. Semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
2. Nilai SNR dipengaruhi oleh ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antara titik tengah gedung disekitar BS. Hal ini dapat dilihat pada grafik. Hal ini dapat dilihat pada grafik (13-17).
3. Nilai SNR dipengaruhi oleh Teknik modulasi dengan kecepatan laju data yang berbeda. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi 16 QAM dengan nilai laju data/code rate yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan laju data. Begitu pula untuk nilai SNR sistem yang menggunakan teknik modulasi 64-QAM.
4. SNR NLOS kondisi $hb<h$ untuk masing-masing teknik modulasi mengalami penurunan jarak jangkau dibanding dengan kondisi $hb>h$, pada kondisi $hb<h$ teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dengan standar minimum SNR=2 dB $h=60$ m, $b=30$ m jarak jangkau yang disarankan hanya mencapai radius 2,78 km, sedangkan pada kondisi $hb>h$ bisa mencapai radius >5 km. Untuk hasil analisa dengan teknik modulasi yang lain dapat dilihat pada grafik SNR $hb<h$ (13-17).

Untuk hasil analisis nilai SNR kondisi LOS dengan teknik modulasi yang berbeda dapat dilihat pada gambar (18).

