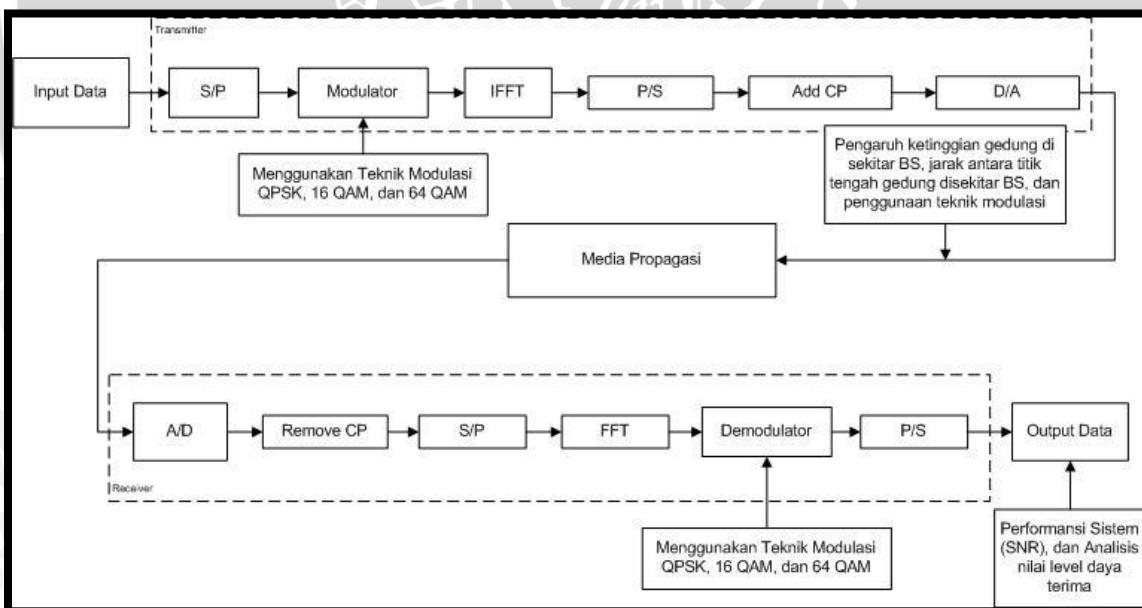


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan membahas dan melakukan 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 Pada tugas akhir ini teknik modulasi yang digunakan oleh penulis adalah QPSK, 16QAM, dan 64 QAM. Gambar 4.1 menunjukkan blok diagram system yang akan dianalisis dalam penelitian ini.



Gambar 4.1. Blok Diagram Sistem Transmisi Data Arah Downlink

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 pada Bab II. Perhitungan dilakukan menggunakan program MATLAB 7.0.4. hasil perhitungan dengan variabel jarak antara *base station* dengan *user equipment*

menggunakan teknik modulasi berbeda dan analisis level daya terima sehingga dapat ditentukan nilai level daya minimum yang diperlukan untuk merencanakan suatu jaringan LTE untuk ukuran *macrocell*, hal tersebut merupakan hasil yang ingin dicapai penulis dalam penulisan skripsi ini.

4.1 Parameter LTE

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) merupakan duplikat bagian akhir dari simbol OFDMA untuk menghilangkan *delay spread* yang terjadi antar data yang saling tumpang tindih.

Tabel 4.2. Parameter OFDMA

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth Channel</i> (MHz)	1.25, 2.5, 5, 10, 15, 20
FFT Size	128, 256, 512, 1024, 1536, 2048
Subcarrier spacing	15 KHz
Useful Symbol Time (μ s)	66,7
OFDMA Symbol Duration (μ s)	71,3
Cyclic prefix (μ s)	4,7
Rasio Cyclic prefix	0,07
Jenis Modulasi	QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM

Sumber: (LTE DL Parameter, LTE Forum)

Parameter *bandwidth channel* dan FFT yang digunakan adalah 10 MHz dan 1024 untuk FFT nya.

Sedangkan untuk laju data pada kanal *bandwidth* 10 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan

Tabel 4.3. Parameter laju data pada LTE OFDMA

Modulasi	Code Rate	Laju Data (Mbps) pada <i>Bandwidth</i> 10 MHz
QPSK	$\frac{1}{2}$	7,2
16 QAM	$\frac{1}{2}$	14,4
	$\frac{3}{4}$	21,6
64 QAM	$\frac{3}{4}$	32,4
	$\frac{4}{5}$	43,2

(Sumber: LTE DL Parameter, LTE Forum)

4.2 Analisis *Bandwidth* Sistem LTE dengan Teknik Modulasi yang Berbeda

Nilai *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh nilai laju data, jumlah *subcarrier*, faktor *cyclic prefix*, dan kecepatan pengguna. Pada skripsi ini pengguna diasumsikan tidak bergerak dengan kecepatan (0 km/jam). *Bandwidth* sistem untuk kecepatan pengguna 0 km/jam dengan jumlah *subcarrier* 1024 dan laju data menggunakan teknik modulasi QPSK dengan $M = 4$, adalah :

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

$$B_{sistem} = \frac{3,17 \times 10^6 \times [2(1-0,07)+1024-1]}{(1-0,07) \times 1024 \times \log_2(4)}$$

$$B_{sistem} = 3,874 \text{ MHz}$$

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 (4.4).

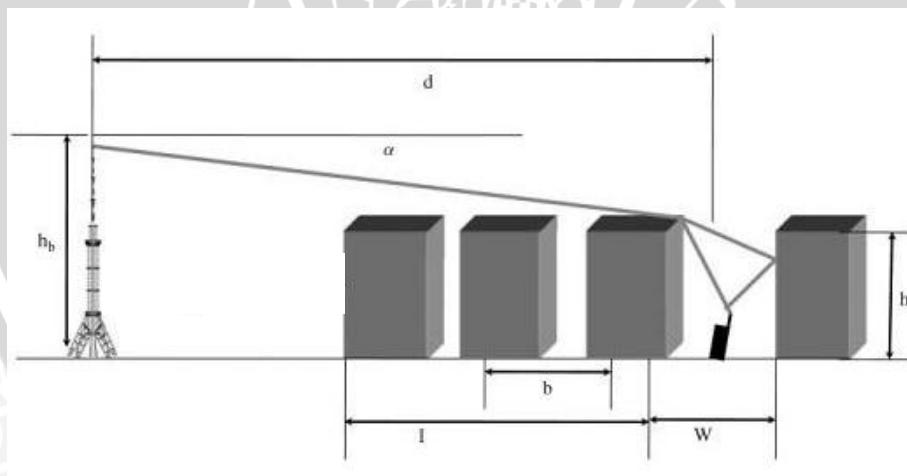
Tabel 4.4. Nilai *bandwidth* sistem untuk masing-masing teknik modulasi

Modulasi	Code Rate	Bandwidth Sistem (Mbps)
QPSK	$\frac{1}{2}$	3,874
16 QAM	$\frac{1}{2}$	3,874
	$\frac{3}{4}$	5,811
64 QAM	$\frac{3}{4}$	5,811
	$\frac{4}{5}$	7,748

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2014)

Berdasarkan Tabel (4.4) dapat diketahui bahwa penggunaan modulasi berpengaruh terhadap nilai *bandwidth* sistem, semakin besar laju data maka semakin besar penggunaan *bandwidth*, begitu pula sebaliknya.

4.3 Parameter Analisis Nilai *Pathloss*



Gambar 4.2. Parameter perhitungan model *Walfisch-Ikegami*

Tabel 4.5. Parameter Nilai *Pathloss*

PARAMETER	SIMBOL	NILAI
Jarak Antara <i>Base Station (BS)</i> dengan <i>Mobile Station (MS)</i>	r	0-5000 meter
Jarak Antar Titik Tengah Gedung	b	variabel
Tinggi Antena <i>Base Station (BS)</i>	hb	50 meter
Tinggi Antena <i>Mobile Station (MS)/ User Equipment (UE)</i>	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 atau Sudut Orientasi Antenna BS	ϕ	20° dan 55°
Frekuensi	f	1800 MHz

(Sumber: Ben Allen, 2013: 331)

Tabel 4.6. Parameter untuk menentukan nilai Lrts (*loss roof-top-to-street*)

PARAMETER	SIMBOL	NILAI
Lebar Jalan	w	15 meter
Frekuensi	f	1800 MHz
Selisih Antara Tinggi Antena MS dengan Gedung Sekitar	Δhm	0-50
Sudut yang Terbentuk Antara BS dengan MS	ϕ	20° dan 55°

(Sumber: Ben Allen, 2013: 331)

Tabel 4.7. Parameter untuk menentukan nilai Lms (*loss multi screen*)

PARAMETER	SIMBOL	NILAI
Jarak Antara <i>Base Station (BS)</i> dengan <i>Mobile Station (MS)</i>	r	0-5000 meter
Jarak Antar Titik Tengah Gedung	b	variabel
Frekuensi	f	1800 MHz
Selisih Antara Tinggi Antena BS dengan Tinggi gedung disekitar BS	Δh_b	variabel
Selisih Antara Tinggi Antena MS dengan Gedung Sekitar	Δh_m	0 - 50 meter

(Sumber: Ben Allen, 2013: 331)

4.4 Analisis Nilai *Pathloss*

Pathloss adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur suatu redaman yang disebabkan oleh pantulan, pembelokan, hamburan sinyal, kontur tanah dan lain-lain agar tidak mengganggu pemancaran antar dua buah antenna yang saling berhubungan.

Untuk analisis nilai *pathloss* pada tugas akhir ini penulis menggunakan perhitungan berdasarkan model propagasi *Walfisch-Ikegami*, karena model propagasi tersebut sangat cocok untuk digunakan didaerah *urban*, model tersebut digunakan pada frekuensi 800-2000 MHz, untuk tinggi antenna *base station* hingga 50 meter dan untuk jarak mencapai 5 km. (Ben Allen, 2013: 311).

Terdapat dua kondisi untuk menentukan nilai *pathloss*. Kondisi yang pertama adalah kondisi *Line-of-sight (LOS)*, kondisi dimana antenna *transmitter* dan antenna *receiver* saling tampak atau tidak ada penghalang antara antenna *transmitter* dan antenna *receiver*. Kondisi yang kedua adalah konsi *Non-Line-of Sight (NLOS)*, kondisi dimana antenna *transmitter* dan antenna *receiver* terhalang oleh suatu objek atau tidak saling tampak.

4.5 Analisis Nilai *Pathloss* Kondisi *Line of Sight (LOS)*

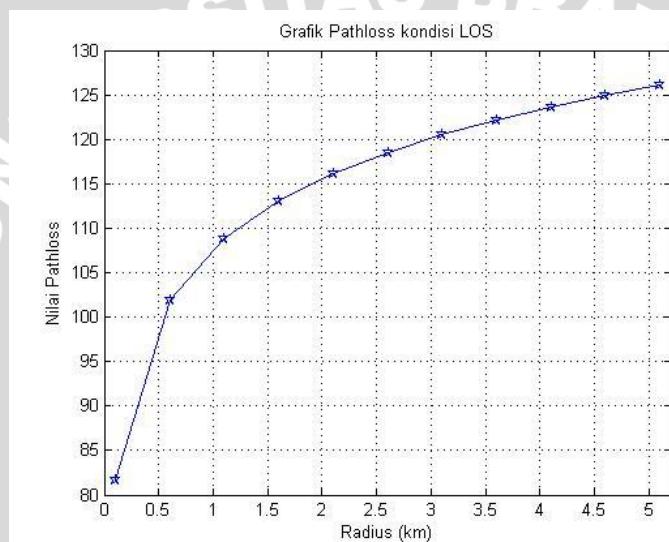
$$P = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f$$

Berdasarkan persamaan (2-1), maka nilai *pathloss* untuk kondisi LOS dapat dilihat pada tabel (4.8), dimana penulis melakukan perhitungan nilai *pathloss* pada kondisi (LOS) mulai dari jarak 0 km sampai dengan 5.1 km.

Tabel 4.8. Nilai *pathloss* untuk jarak hingga 5km kondisi (LOS)

Radius (km)	PL LOS
0.1	81,7055
0.6	101,9374
1.1	108,7817
1.6	113,0126
2.1	116,0832
2.6	118,4948
3.1	120,4809
3.6	122,1693
4.1	123,6378
4.6	124,9372
5.1	126,1023

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2014)

**Gambar 4.3.** Grafik Pathloss Vs Jarak Kondisi LOS

Berdasarkan data pada tabel dan grafik yang diperoleh pada perhitungan nilai *pathloss* untuk kondisi LOS dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara *base station* dengan *user equipment* maka nilai *pathloss* yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga sebaliknya.

4.6 Analisis Nilai *Pathloss* Kondisi Non-Line-of Sight (NLOS)

Pada analisis nilai *pathloss* kondisi NLOS menggunakan model *Walfisch-Iegami* terdapat berbagai macam parameter yang harus diamati, antara lain: nilai *L_{rts}* dan nilai *L_{ms}*. Sesuai dengan persamaan yang ada untuk analisis *pathloss* kondisi NLOS.

$$P = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d + L_{rts} + L_{ms}$$

Dimana *L_{rts}* adalah rugi-rugi difraksi dan hamburan pada atap gedung dengan jalan

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(h - h_m) + L_{ori}$$

4.6.1 Analisis Nilai Lrts

Nilai Lrts adalah rugi rugi yang disebabkan oleh adanya difraksi *roof-top-to-street*. Pada analisis nilai rugi-rugi difraksi atap gedung sampai dengan jalan (Lrts) penulis melakukan perhitungan dengan nilai Δhm berubah-ubah dan terlebih dahulu menentukan nilai ϕ yang digunakan dalam perhitungan, pada perhitungan tersebut penulis menggunakan nilai $\phi = 20^\circ$ dan $\phi = 55^\circ$, dimana penulis bertujuan untuk mengetahui nilai Lrts untuk kondisi tinggi antenna mobile station yang berbeda.

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(h - h_m) + L_{cri}$$

Hasil perhitungan nilai Lrts dapat dilihat pada tabel (3.9)

Tabel 4.9. Nilai Lrts untuk Δhm berbeda

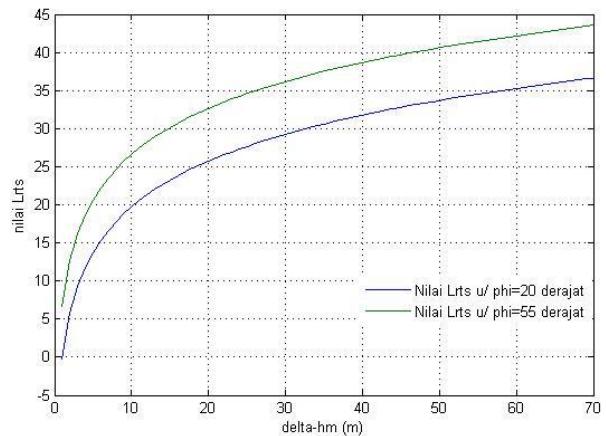
NO	Δhm (m)	NILAI Lrts $\phi = 20^\circ$	NILAI Lrts $\phi = 55^\circ$
1	1	-0,2776	6,6424
2	2	5,743	12,663
3	3	9,2649	16,1849
4	4	11,7636	18,6836
5	5	13,7018	20,6218
6	6	15,2855	22,2055
7	7	16,6244	23,5444
8	8	17,7842	24,7042
9	9	18,8073	25,7273
10	10	19,7224	26,6424
11	11	20,5503	27,4703
12	12	21,3061	28,2261
13	13	22,0013	28,9213
14	14	22,645	29,565
15	15	23,2443	30,1643
16	16	23,8048	30,7248
17	17	24,3314	31,2514
18	18	24,8279	31,7479
19	19	25,2975	32,2175
20	20	25,743	32,663
21	21	26,1668	33,0868
22	22	26,5709	33,4909
23	23	26,957	33,877
24	24	27,3266	34,2466
25	25	27,6812	34,6012
26	26	28,0219	34,9419
27	27	28,3497	35,2697
28	28	28,6656	35,5856
29	29	28,9704	35,8904
30	30	29,2649	36,1849
31	31	29,5497	36,4697
32	32	29,8254	36,7454
33	33	30,0927	37,0127

34	34	30,352	37,272
35	35	30,6038	37,5238
36	36	30,8485	37,7685
37	37	31,0865	38,0065
38	38	31,3181	38,2381
39	39	31,5437	38,4637
40	40	31,7636	38,6836
41	41	31,9781	38,8981
42	42	32,1874	39,1074
43	43	32,3918	39,3118
44	44	32,5915	39,5115
45	45	32,7867	39,7067
46	46	32,9776	39,8976
47	47	33,1644	40,0844
48	48	33,3472	40,2672
49	49	33,5263	40,4463
50	50	33,7018	40,6218
51	51	33,8738	40,7938
52	52	34,0425	40,9625
53	53	34,2079	41,1279
54	54	34,3703	41,2903
55	55	34,5297	41,4497
56	56	34,6862	41,6062
57	57	34,8399	41,7599
58	58	34,991	41,911
59	59	35,1395	42,0595
60	60	35,2855	42,2055
61	61	35,429	42,349
62	62	35,5703	42,4903
63	63	35,7092	42,6292
64	64	35,846	42,766
65	65	35,9807	42,9007
66	66	36,1133	43,0333
67	67	36,2439	43,1639
68	68	36,3726	43,2926
69	69	36,4994	43,4194
70	70	36,6244	43,5444

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Pada hasil perhitungan tabel (4.9) dapat diketahui bahwa nilai Lrts atau rugi-rugi difraksi *roof-top-to-street* cenderung berbanding lurus dengan nilai Δhm yang diberikan semakin tinggi Δhm maka semakin tinggi nilai *pathloss* nya





Gambar 4.4. Grafik nilai Lrts untuk nilai $\phi=20^{\circ}$ dan $\phi=55^{\circ}$

Berdasarkan pada data tabel dan grafik yang diperoleh pada saat penghitungan dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ϕ maka semakin besar pula nilai Lrts (*rugi–rugi roof-top-to-street*) yang diperoleh, dan semakin besar nilai Δhm maka semakin besar pula nilai Lrts yang dihasilkan, hal ini berarti menggambarkan bahwa semakin rendah UE berada maka semakin tinggi nilai Lrts yang dihasilkan.

4.6.2 Analisis Nilai Lms

Lms adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh adanya *multiple-screen-difraction*. Pada analisis nilai Lms penulis juga melakukan perhitungan berdasarkan dua kondisi. Kondisi yang pertama adalah perhitungan Lms dimana tinggi antenna transmitter *base station* diletakkan lebih rendah daripada tinggi gedung disekitar *base station* ($hb < h$). Kondisi yang kedua adalah kondisi dimana antenna transmitter atau *base station* diletakkan lebih tinggi daripada gedung-gedung yang ada disekitar *base station* ($hb > h$).

4.6.2.1 Analisis Nilai Lms Kondisi $hb < h$

Pada analisis nilai Lms kondisi $hb < h$ penulis melakukan beberapa pengujian perhitungan antara lain melakukan pengujian perhitungan saat antenna *base station* diletakkan lebih rendah 10 meter dan 20 meter dengan tinggi gedung disekitar. Dimana pada perhitungan nilai Lms yang pertama untuk kondisi $hb < h$ parameter yang digunakan adalah radius (r) = 1 dan 2.5 km, jarak antar titik tengah gedung (b) = 30, 150, 300, 500, 750, dan 1000 meter, dan antenna transmitter diletakkan pada ketinggian h = 50 meter.

Tabel 4.10. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=1$ km, $h= 60$ m, dan $\Delta hb = -10$ m

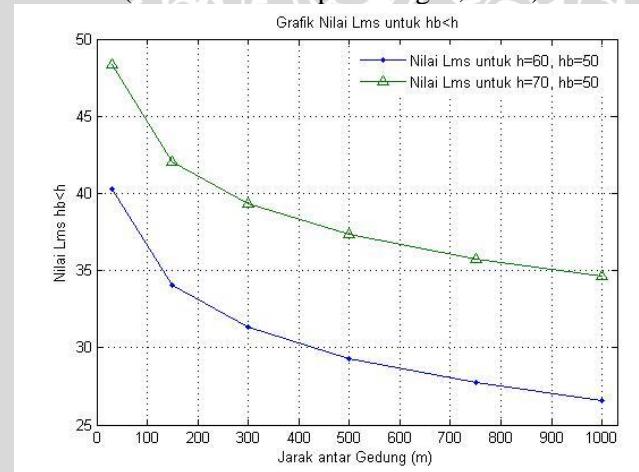
NO	RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
1	1	30	60	-10	40,3141
2	1	150	60	-10	34,0233
3	1	300	60	-10	31,3141
4	1	500	60	-10	29,3174
5	1	750	60	-10	27,7326
6	1	1000	60	-10	26,6082

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.11. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=1$ km, $h= 70$ m, dan $\Delta hb = -20$ m

NO	RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
1	1	30	70	-20	48,3141
2	1	150	70	-20	42,0233
3	1	300	70	-20	39,3141
4	1	500	70	-20	37,3174
5	1	750	70	-20	35,7326
6	1	1000	70	-20	34,6082

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

**Grafik 4.5.** Nilai Lms untuk jarak antar gedung (b) berbeda dengan radius (r) tetap

Berdasarkan data dari hasil analisis dapat dilihat bahwa nilai jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b) berpengaruh terhadap nilai Lms, semakin besar nilai (b), maka nilai Lms yang dihasilkan akan semakin rendah.

Tabel 4.12. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=2.5$ km, $h= 60$ m, dan $\Delta hb = -10$ m

NO	RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
1	2.5	30	60	-10	48,4718
2	2.5	150	60	-10	42,1811
3	2.5	300	60	-10	39,4718
4	2.5	500	60	-10	37,4752
5	2.5	750	60	-10	35,8904
6	2.5	1000	60	-10	34,7659

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.13. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=2.5$ km, $h= 70$ m, dan $\Delta hb = -20$ m

NO	RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
1	2.5	30	70	-20	57,1824
2	2.5	150	70	-20	50,8917
3	2.5	300	70	-20	48,1824
4	2.5	500	70	-20	46,1858
5	2.5	750	70	-20	44,601
6	2.5	1000	70	-20	43,4765

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Berdasarkan data pada perhitungan nilai Lms dengan radius tetap sebesar 1 km dan 2.5 dengan jarak antar gedung berubah-ubah atau sebagai variabel, dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk jarak gedung yang lebih lebar nilai Lms nya semakin rendah.

Selain melakukan pengujian perhitungan nilai Lms pada kondisi $hb < h$ dengan nilai r tetap dan nilai b sebagai variabel, pengujian perhitungan terhadap nilai Lms kondisi $hb < h$ dengan nilai r sebagai variabel dan nilai b tetap juga dilakukan, dimana perhitungan tersebut bertujuan untuk melakukan analisis terhadap pengaruh perubahan jarak antara *base station* dengan *user equipment* terhadap nilai Lms nya.

Pada analisis nilai Lms dengan nilai r sebagai variabel, penulis melakukan beberapa kali pengujian dengan melakukan perubahan pada nilai parameter h dan Δhb , pada pengujian pertama penulis menggunakan nilai ketinggian gedung disekitar *base station* (h)= 60 m, dan selisih antara *base station* dengan gedung disekitar *base station* (Δhb)= -10 m, sedangkan pada pengujian kedua penulis menggunakan nilai ketinggian gedung disekitar *base station* (h)= 70 m, dan selisih antara *base station* dengan gedung disekitar *base station* (Δhb)= -20 m.

Hasil analisis nilai Lms kondisi $hb < h$ dengan radius berubah dapat dilihat pada tabel (4.14).

Tabel 4.14. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1\text{-}5.1 \text{ km}$, $h= 60$, $b= 30 \text{ m}$, dan $\Delta hb = -10 \text{ m}$

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	30	60	-10	19,8141
0.6	30	60	-10	35,7662
1.1	30	60	-10	41,1626
1.6	30	60	-10	44,4985
2.1	30	60	-10	46,9196
2.6	30	60	-10	48,821
3.1	30	60	-10	50,3870
3.6	30	60	-10	51,7183
4.1	30	60	-10	52,8761
4.6	30	60	-10	53,9006
5.1	30	60	-10	54,8193

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.15. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r= 0.1\text{-}5.1 \text{ km}$, $b= 150 \text{ m}$, $h= 60 \text{ m}$, dan $\Delta hb = -10 \text{ m}$

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	150	60	-10	13,5233
0.6	150	60	-10	29,4754
1.1	150	60	-10	34,8719
1.6	150	60	-10	38,2078
2.1	150	60	-10	40,6288
2.6	150	60	-10	42,5303
3.1	150	60	-10	44,0963
3.6	150	60	-10	45,4275
4.1	150	60	-10	46,5854
4.6	150	60	-10	47,6099
5.1	150	60	-10	48,5285

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.16. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1\text{-}5.1 \text{ km}$, $b= 500 \text{ m}$, $h= 60 \text{ m}$, dan $\Delta hb = -10 \text{ m}$

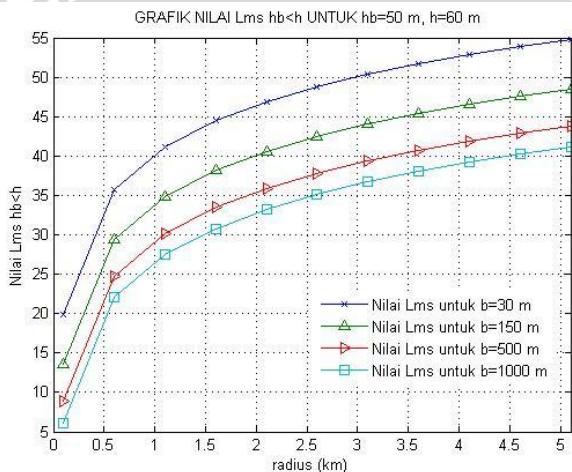
RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	500	60	-10	8,8174
0.6	500	60	-10	24,7695
1.1	500	60	-10	30,166
1.6	500	60	-10	33,5019
2.1	500	60	-10	35,9229
2.6	500	60	-10	37,8244
3.1	500	60	-10	39,3903
3.6	500	60	-10	40,7216
4.1	500	60	-10	41,8795
4.6	500	60	-10	42,904
5.1	500	60	-10	43,8226

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.17. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 1000$ m, $h= 60$ m, dan $\Delta hb = -10$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	1000	60	-10	6,1082
0.6	1000	60	-10	22,0603
1.1	1000	60	-10	27,4567
1.6	1000	60	-10	30,7926
2.1	1000	60	-10	33,2137
2.6	1000	60	-10	35,1151
3.1	1000	60	-10	36,6811
3.6	1000	60	-10	38,0124
4.1	1000	60	-10	39,1702
4.6	1000	60	-10	40,1947
5.1	1000	60	-10	41,1133

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

**Gambar 4.6.** Grafik hubungan nilai Lms dengan jarak antara BS dan UE untuk nilai $h=60$ m

Berdasarkan data pada tabel dan grafik dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk $hb < h$ berbanding lurus dengan nilai jarak antara *base station* dengan *user equipment*, semakin jauh jarak antara *base station* dengan *user equipment* maka nilai Lms nya juga semakin besar. Begitu juga sebaliknya.

Sedangkan untuk analisis perhitungan nilai Lms $hb < h$ pada pengujian yang kedua dimana nilai $h= 70$ m, dan $\Delta hb= -20$ dapat dilihat pada tabel (4.18-4.22).

Tabel 4.18. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 30$ m, $h= 70$ m, dan $\Delta hb= -20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	30	70	-20	26,0284
0.6	30	70	-20	43,37
1.1	30	70	-20	49,2365
1.6	30	70	-20	52,863
2.1	30	70	-20	55,495
2.6	30	70	-20	57,562
3.1	30	70	-20	59,2644
3.6	30	70	-20	60,7117
4.1	30	70	-20	61,9704
4.6	30	70	-20	63,0841
5.1	30	70	-20	64,0828

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.20. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 150$ m, $h= 70$ m, dan $\Delta hb= -20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	150	70	-20	19,7376
0.6	150	70	-20	37,0793
1.1	150	70	-20	42,9458
1.6	150	70	-20	46,5723
2.1	150	70	-20	49,2042
2.6	150	70	-20	51,2713
3.1	150	70	-20	52,9737
3.6	150	70	-20	54,4209
4.1	150	70	-20	55,6797
4.6	150	70	-20	56,7934
5.1	150	70	-20	57,792

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.21. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 500$ m, $h= 70$ m, dan $\Delta hb= -20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	500	70	-20	15,0317
0.6	500	70	-20	32,3734
1.1	500	70	-20	38,2399
1.6	500	70	-20	41,8664
2.1	500	70	-20	44,4983
2.6	500	70	-20	46,5654
3.1	500	70	-20	48,2678
3.6	500	70	-20	49,715
4.1	500	70	-20	50,9738
4.6	500	70	-20	52,0875
5.1	500	70	-20	53,0861

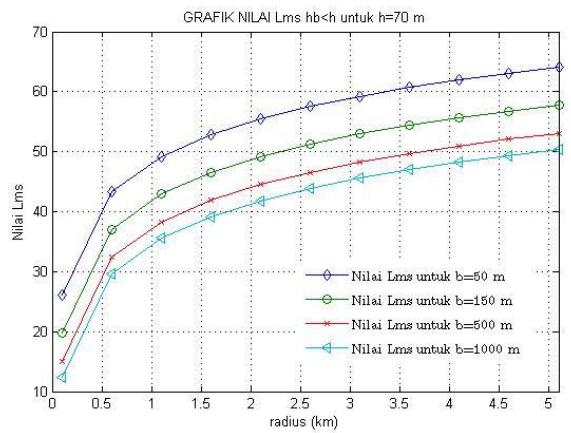
(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



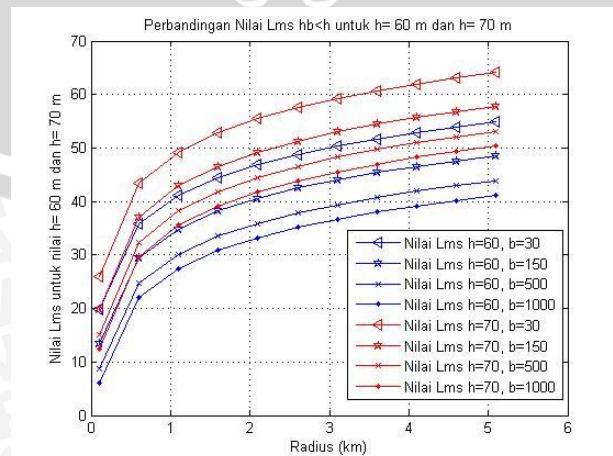
Tabel 4.22. Nilai Lms kondisi $hb < h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 1000$ m, $h= 70$ m, dan $\Delta hb = -20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	Δhb	NILAI Lms $hb < h$
0.1	1000	70	-20	12,3224
0.6	1000	70	-20	29,6641
1.1	1000	70	-20	35,5306
1.6	1000	70	-20	39,1571
2.1	1000	70	-20	41,789
2.6	1000	70	-20	43,8561
3.1	1000	70	-20	45,5585
3.6	1000	70	-20	47,0058
4.1	1000	70	-20	48,2645
4.6	1000	70	-20	49,3782
5.1	1000	70	-20	50,3769

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

**Gambar 4.7.** Grafik hubungan nilai Lms dengan jarak antara BS dengan UE $hb < h$ untuk nilai $h=70$ m

Berdasarkan data pada tabel dan grafik dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk $hb < h$ berbanding lurus dengan nilai jarak antara *base station* dengan *user equipment*, semakin jauh jarak antara *base station* dengan *user equipment* maka nilai Lms nya juga semakin besar. Begitu juga sebaliknya.

**Gambar 4.8.** Grafik Perbandingan Nilai Lms $hb < h$ untuk $h=60$ m dan $h=70$ m

Berdasarkan data pada tabel dan grafik hasil perhitungan nilai Lms $hb < h$ untuk kondisi $h = 60$ m, dan $h = 70$ m dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk $h = 70$ m cenderung lebih tinggi daripada nilai Lms untuk $h = 60$ m. tetapi nilai Lms untuk $h = 60$ m pada nilai jarak antar gedung (b)= 30 menghasilkan nilai Lms yang lebih tinggi daripada nilai Lms untuk $h = 70$ m dengan jarak antar gedung (b)= 500 m dan 1000 m.

4.6.2.2 Analisis Nilai Lms Kondisi $hb > h$

Pada analisis nilai Lms kondisi $hb > h$ penulis melakukan analisa perhitungan dengan dua keadaan berbeda, untuk keadaan pertama penulis memisalkan antena *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter dan ketinggian gedung disekitar antenna *base station* sebesar 40 meter. Keadaan yang kedua penulis memisalkan antena *base station* berada pada ketinggian 50 meter dan ketinggian gedung disekitar sebesar 30 meter.

Untuk hasil perhitungan nilai Lms dengan kondisi antena *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter dan ketinggian gedung disekitar antenna *base station* sebesar 40 meter dapat dilihat pada tabel (4.23-4.26).

Tabel 4.23. Nilai Lms kondisi $hb > h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 30$ m, $h= 40$ m, dan $\Delta hb= 10$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb > h$
0.1	30	40	50	10	3,9001
0.6	30	40	50	10	17,9069
1.1	30	40	50	10	22,6452
1.6	30	40	50	10	25,5743
2.1	30	40	50	10	27,7001
2.6	30	40	50	10	29,3697
3.1	30	40	50	10	30,7447
3.6	30	40	50	10	31,9136
4.1	30	40	50	10	32,9303
4.6	30	40	50	10	33,8298
5.1	30	40	50	10	34,6364

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.24. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 150$ m, $h= 40$ m, dan $\Delta hb= 10$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	150	40	50	10	-2,3906
0.6	150	40	50	10	11,6161
1.1	150	40	50	10	16,3545
1.6	150	40	50	10	19,2836
2.1	150	40	50	10	21,4094
2.6	150	40	50	10	23,0789
3.1	150	40	50	10	24,4539
3.6	150	40	50	10	25,6229
4.1	150	40	50	10	26,6395
4.6	150	40	50	10	27,5391
5.1	150	40	50	10	28,3457

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.25. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 500$ m, $h= 40$ m, dan $\Delta hb= 10$ m

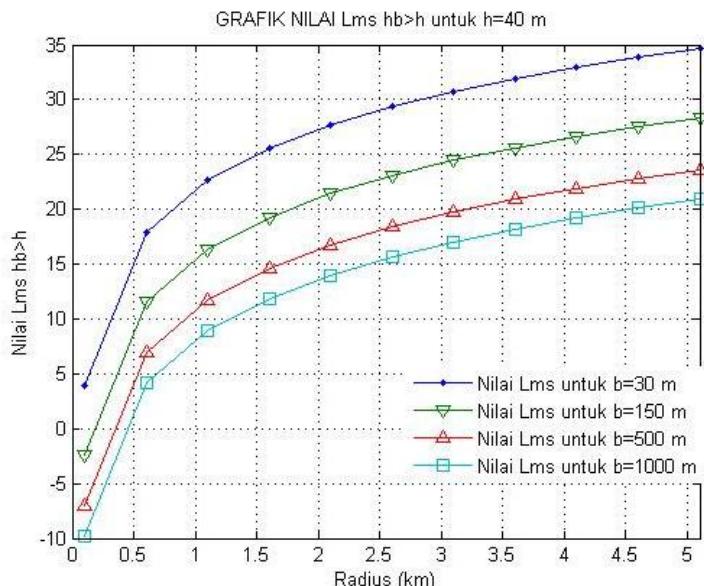
RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	500	40	50	10	-7,0965
0.6	500	40	50	10	6,9102
1.1	500	40	50	10	11,6486
1.6	500	40	50	10	14,5777
2.1	500	40	50	10	16,7035
2.6	500	40	50	10	18,373
3.1	500	40	50	10	19,7480
3.6	500	40	50	10	20,9169
4.1	500	40	50	10	21,9336
4.6	500	40	50	10	22,8331
5.1	500	40	50	10	23,6398

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.26. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 1000$ m, $h= 40$ m, dan $\Delta hb= 10$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	1000	40	50	10	-9,8058
0.6	1000	40	50	10	4,201
1.1	1000	40	50	10	8,9393
1.6	1000	40	50	10	11,8684
2.1	1000	40	50	10	13,9942
2.6	1000	40	50	10	15,6638
3.1	1000	40	50	10	17,0387
3.6	1000	40	50	10	18,2077
4.1	1000	40	50	10	19,2243
4.6	1000	40	50	10	20,1239
5.1	1000	40	50	10	20,9305

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.9. Grafik hubungan nilai Lms dengan jarak antara BS dengan UE kondisi $hb > h$ untuk nilai $h=40$ meter

Berdasarkan data pada tabel dan grafik hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk $hb > h$ berbanding lurus dengan nilai perubahan jarak antara *base station* dengan *user equipment*, semakin jauh jarak antara *base station* dengan *user equipment* maka nilai Lms yang dihasilkan juga semakin besar.

Untuk hasil perhitungan nilai Lms dengan kondisi antena *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter dan ketinggian gedung disekitar antena *base station* sebesar 30 meter dapat dilihat pada tabel (4.27).

Tabel 4.27. Nilai Lms kondisi $hb > h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b=30$ m, $h=30$ m, dan $\Delta hb=20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb > h$
0.1	30	30	50	20	1,0919
0.6	30	30	50	20	15,0986
1.1	30	30	50	20	19,8369
1.6	30	30	50	20	22,766
2.1	30	30	50	20	24,8918
2.6	30	30	50	20	26,5614
3.1	30	30	50	20	27,9364
3.6	30	30	50	20	29,1053
4.1	30	30	50	20	30,122
4.6	30	30	50	20	31,0215
5.1	30	30	50	20	31,8281

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.28. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 150$ m, $h= 30$ m, dan $\Delta hb= 20$ m

RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	150	30	50	20	-5,1989
0.6	150	30	50	20	8,8079
1.1	150	30	50	20	13,5462
1.6	150	30	50	20	16,4753
2.1	150	30	50	20	18,6011
2.6	150	30	50	20	20,2707
3.1	150	30	50	20	21,6457
3.6	150	30	50	20	22,8146
4.1	150	30	50	20	23,8313
4.6	150	30	50	20	24,7308
5.1	150	30	50	20	25,5374

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.29. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 500$ m, $h= 30$ m, dan $\Delta hb= 20$ m

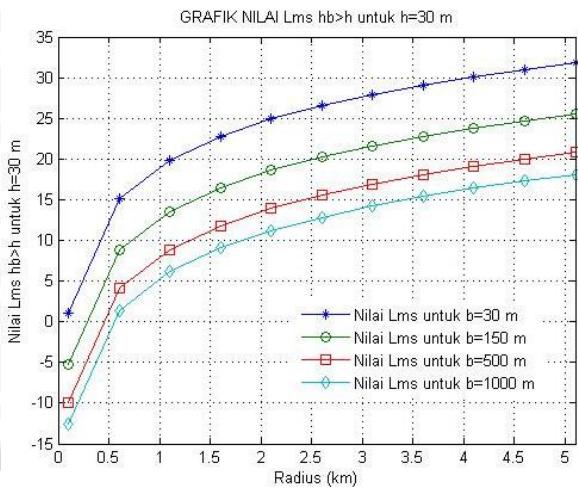
RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	500	30	50	20	-9,9048
0.6	500	30	50	20	4,102
1.1	500	30	50	20	8,8403
1.6	500	30	50	20	11,7694
2.1	500	30	50	20	13,8952
2.6	500	30	50	20	15,5648
3.1	500	30	50	20	16,9397
3.6	500	30	50	20	18,1087
4.1	500	30	50	20	19,1253
4.6	500	30	50	20	20,0249
5.1	500	30	50	20	20,8315

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.30. Nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk $r=0.1-5.1$ km, $b= 1000$ m, $h= 30$ m, dan $\Delta hb= 20$ m

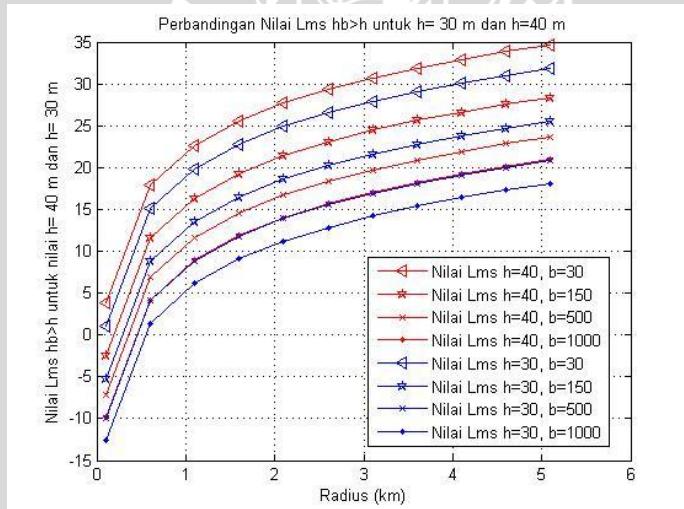
RADIUS (km)	JARAK TITIK TENGAH GEDUNG (m)	h	hb	Δhb	NILAI Lms $hb>h$
0.1	1000	30	50	20	-12,614
0.6	1000	30	50	20	1,3927
1.1	1000	30	50	20	6,131
1.6	1000	30	50	20	9,0601
2.1	1000	30	50	20	11,1859
2.6	1000	30	50	20	12,8555
3.1	1000	30	50	20	14,2305
3.6	1000	30	50	20	15,3994
4.1	1000	30	50	20	16,4161
4.6	1000	30	50	20	17,3156
5.1	1000	30	50	20	18,1222

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.10. Grafik hubungan nilai Lms dengan jarak antara BS dengan UE kondisi $hb>h$ untuk nilai $h=30$ meter

Berdasarkan data pada tabel dan grafik hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai Lms untuk $hb>h$ berbanding lurus dengan nilai perubahan jarak antara *base station* dengan *user equipment*, semakin jauh jarak antara *base station* dengan *user equipment* maka nilai Lms yang dihasilkan juga semakin besar.



Gambar 4.11. Grafik perbandingan nilai Lms $hb>h$ untuk nilai (h) yang berbeda

Berdasarkan data pada hasil perhitungan nilai Lms kondisi $hb>h$ untuk dua keadaan yang berbeda, dimana keadaan pertama penulis menggunakan asumsi bahwa ketinggian gedung disekitar antenna *base station* $h= 40$ m, dan keadaan kedua penulis mengasumsikan ketinggian gedung disekitar antenna *base station* setinggi $h= 30$ m ($h= 40$ dan $h= 30$ meter), didapatkan hasil bahwa semakin rendah ketinggian gedung disekitar antenna *base station* maka nilai Lms nya semakin rendah juga.

Setelah melakukan analisis perhitungan nilai Lms kondisi $hb<h$ dan $hb>h$, dan berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai Lms untuk kondisi $hb>h$ lebih rendah dibanding nilai Lms pada kondisi $hb<h$.



4.7 Analisis Nilai *Pathloss* (NLOS dan LOS)

$$PL_{NLOS} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d + L_{rts} + L_{ms}$$

Pada propagasi gelombang elektromagnetik, semakin jauh jarak *transmitter* dan *receiver*, maka semakin kecil daya yang diterima oleh *receiver*. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisian sinyal. Penurunan kekuatan gelombang elektromagnetik karena menyebar melalui ruang bebas disebut *pathloss*. *Pathloss* dengan pengaruh *multipath fading* dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* dan *receiver* tidak saling Nampak atau terdapat banyak penghalang, seperti pohon, gedung dan rumah. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi ataupun hamburan sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dalam pentransmisianya. Dalam skripsi ini digunakan model propagasi *Walfisch-Ikegami* untuk menghitung nilai *pathloss*.

Berdasarkan persamaan (2-2), maka nilai *pathloss* untuk kondisi NLOS dapat dilihat pada tabel (4.31-4.42), dimana penulis melakukan perhitungan nilai *pathloss* pada kondisi (NLOS) mulai dari jarak 0.1 km sampai dengan 5.1 km, serta melakukan perhitungan pada dua keadaan dengan parameter jarak antar gedung yang berbeda. Keadaan yang pertama $hb < h$ yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi -10 dan -20 meter dan mobile station berada pada ketinggian 59 meter dan 69 meter. Keadaan kedua $hb > h$ yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih tinggi dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi 10 dan 20 meter dan mobile station berada pada ketinggian 49 meter dan 39 meter. (antenna *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter).

4.7.1 Analisis Nilai *Pathloss* (NLOS) Kondisi $hb > h$

$$PL_{NLOS} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d + L_{rts} + L_{ms}$$

Berdasarkan persamaan (2-2), maka nilai *pathloss* untuk kondisi NLOS dapat dilihat pada tabel (4.31), dimana penulis melakukan perhitungan nilai *pathloss* pada kondisi (NLOS) yang kedua dimana nilai $hb > h$ mulai dari jarak 0.1 km sampai dengan 5.1 km.

Untuk hasil perhitungan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb > h$ pada keadaan yang pertama yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih tinggi dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi 10 meter dan 20 meter lebih tinggi, sedangkan mobile station berada pada ketinggian 39 meter

dan 29 meter. (antenna *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter) dapat dilihat pada tabel (4.31-4.34).

Tabel 4.31. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb>h$ dengan nilai $\Delta hm= 39$ m, $h= 40$ m, dan $b=30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	39	40	30	112,9493
2	0.6	39	40	30	142,5191
3	1.1	39	40	30	152,5222
4	1.6	39	40	30	158,7058
5	2.1	39	40	30	163,1936
6	2.6	39	40	30	166,7183
7	3.1	39	40	30	169,6211
8	3.6	39	40	30	172,0888
9	4.1	39	40	30	174,2351
10	4.6	39	40	30	176,1341
11	5.1	39	40	30	177,837

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.32. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb>h$ dengan nilai $\Delta hm= 39$ m, $h= 40$ m, dan $b=500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	39	40	500	101,9527
2	0.6	39	40	500	131,5224
3	1.1	39	40	500	141,5256
4	1.6	39	40	500	147,7092
5	2.1	39	40	500	152,197
6	2.6	39	40	500	155,7216
7	3.1	39	40	500	158,6244
8	3.6	39	40	500	161,0921
9	4.1	39	40	500	163,2384
10	4.6	39	40	500	165,1374
11	5.1	39	40	500	166,8404

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.33. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb > h$ dengan nilai $\Delta hm = 29$ m, $h = 30$ m, dan $b = 30$ m

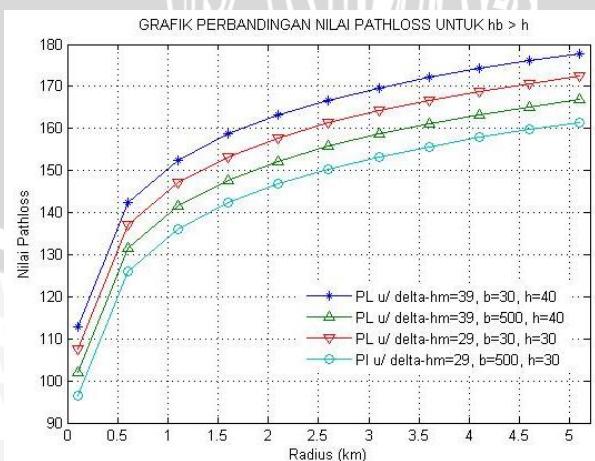
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	29	30	30	107,5678
2	0.6	29	30	30	137,1375
3	1.1	29	30	30	147,1406
4	1.6	29	30	30	153,3242
5	2.1	29	30	30	157,812
6	2.6	29	30	30	161,3367
7	3.1	29	30	30	164,2395
8	3.6	29	30	30	166,7072
9	4.1	29	30	30	168,8535
10	4.6	29	30	30	170,7525
11	5.1	29	30	30	172,4554

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.34. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb > h$ dengan nilai $\Delta hm = 29$ m, $h = 30$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	29	30	500	96,5711
2	0.6	29	30	500	126,1409
3	1.1	29	30	500	136,144
4	1.6	29	30	500	142,3276
5	2.1	29	30	500	146,8154
6	2.6	29	30	500	150,3401
7	3.1	29	30	500	153,2428
8	3.6	29	30	500	155,7106
9	4.1	29	30	500	157,8568
10	4.6	29	30	500	159,7559
11	5.1	29	30	500	161,4588

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.12. Grafik perbandingan nilai *pathloss* untuk $hb > h$

4.7.2 Analisis Nilai Pathloss (NLOS) Kondisi $hb < h$

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

Berdasarkan persamaan (2-2), maka nilai *pathloss* untuk kondisi NLOS $hb < h$ dapat dilihat pada tabel (4.35-4.38), dimana penulis melakukan perhitungan nilai *pathloss* pada kondisi (NLOS) $hb < h$ mulai dari jarak 0.1 km sampai dengan 5.1 km, serta melakukan perhitungan pada dua keadaan dengan parameter jarak antar gedung yang berbeda. Keadaan yang pertama yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi -10 meter dan mobile station berada pada ketinggian 59 meter. Keadaan kedua yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi -20 meter dan mobile station berada pada ketinggian 69 meter. (antenna *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter).

Selain melakukan perhitungan pada kondisi ketinggian gedung yang berbeda penulis juga melakukan analisa perhitungan untuk nilai ϕ (phi) pada nilai L_{rts} yang berbeda.

Untuk hasil perhitungan nilai *pathloss* NLOS kondisi $hb < h$ pada keadaan yang pertama yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi -10 meter dan mobile station berada pada ketinggian 59 meter. (antenna *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter) dapat dilihat pada tabel (4.35-4.38).

Tabel 4.35. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, $\phi = 20^\circ$, dan $b = 30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	59	60	30	132,4591
2	0.6	59	60	30	163,9742
3	1.1	59	60	30	174,6354
4	1.6	59	60	30	181,2258
5	2.1	59	60	30	186,0089
6	2.6	59	60	30	189,7654
7	3.1	59	60	30	192,8592
8	3.6	59	60	30	195,4893
9	4.1	59	60	30	197,7767
10	4.6	59	60	30	199,8007
11	5.1	59	60	30	201,6157

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.36. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, $\phi = 20^\circ$, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	59	60	500	121,4624
2	0.6	59	60	500	152,9775
3	1.1	59	60	500	163,6388
4	1.6	59	60	500	170,2292
5	2.1	59	60	500	175,0122
6	2.6	59	60	500	178,7688
7	3.1	59	60	500	181,8625
8	3.6	59	60	500	184,4926
9	4.1	59	60	500	186,7801
10	4.6	59	60	500	188,8041
11	5.1	59	60	500	190,619

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Hasil perhitungan nilai *pathloss* (NLOS) $hb < h$ untuk keadaan kedua yaitu dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah dari gedung disekitar dengan selisih antara tinggi *base station* dengan tinggi gedung sekitar setinggi -20 meter dan mobile station berada pada ketinggian 69 meter. (antenna *base station* diletakkan pada ketinggian 50 meter) dapat dilihat pada tabel (4.37).

Tabel 4.37. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, $\phi = 20^\circ$, dan $b = 30$ m

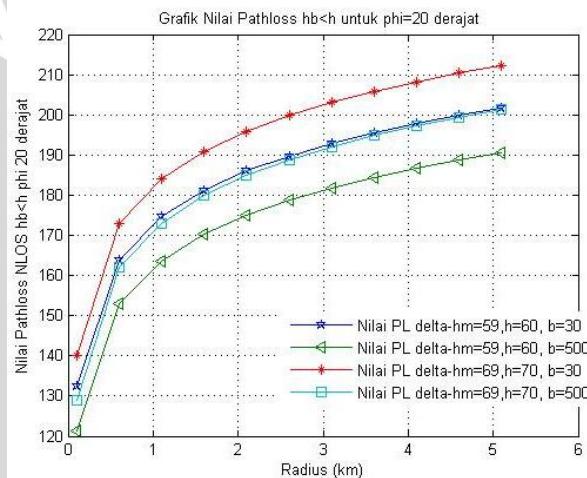
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	69	70	30	140,0333
2	0.6	69	70	30	172,9379
3	1.1	69	70	30	184,0692
4	1.6	69	70	30	190,9502
5	2.1	69	70	30	195,9442
6	2.6	69	70	30	199,8663
7	3.1	69	70	30	203,0965
8	3.6	69	70	30	205,8426
9	4.1	69	70	30	208,2309
10	4.6	69	70	30	210,3441
11	5.1	69	70	30	212,2391

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.38. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, $\phi = 20^\circ$, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	69	70	500	129,0366
2	0.6	69	70	500	161,9413
3	1.1	69	70	500	173,0726
4	1.6	69	70	500	179,9536
5	2.1	69	70	500	184,9475
6	2.6	69	70	500	188,8697
7	3.1	69	70	500	192,0999
8	3.6	69	70	500	194,8459
9	4.1	69	70	500	197,2343
10	4.6	69	70	500	199,3475
11	5.1	69	70	500	201,2424

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.13. Grafik nilai *pathloss* $hb < h$ untuk nilai $\phi = 55^\circ$

Hasil perhitungan nilai *pathloss* (NLOS) $hb < h$ untuk nilai Lrts pada $\phi = 55^\circ$ dapat dilihat pada perhitungan tabel (4.39-4.42).

Tabel 4.39. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, $\phi = 55^\circ$, dan $b = 30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	59	60	30	139,3791
2	0.6	59	60	30	170,8942
3	1.1	59	60	30	181,5554
4	1.6	59	60	30	188,1458
5	2.1	59	60	30	192,9289
6	2.6	59	60	30	196,6854
7	3.1	59	60	30	199,7792
8	3.6	59	60	30	202,4093
9	4.1	59	60	30	204,6967
10	4.6	59	60	30	206,7207
11	5.1	59	60	30	208,5357

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.40. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, $\phi = 55^\circ$, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	59	60	500	128,3824
2	0.6	59	60	500	159,8975
3	1.1	59	60	500	170,5588
4	1.6	59	60	500	177,1492
5	2.1	59	60	500	181,9322
6	2.6	59	60	500	185,6888
7	3.1	59	60	500	188,7825
8	3.6	59	60	500	191,4126
9	4.1	59	60	500	193,7001
10	4.6	59	60	500	195,7241
11	5.1	59	60	500	197,539

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.41. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, $\phi = 55^\circ$, dan $b = 30$ m

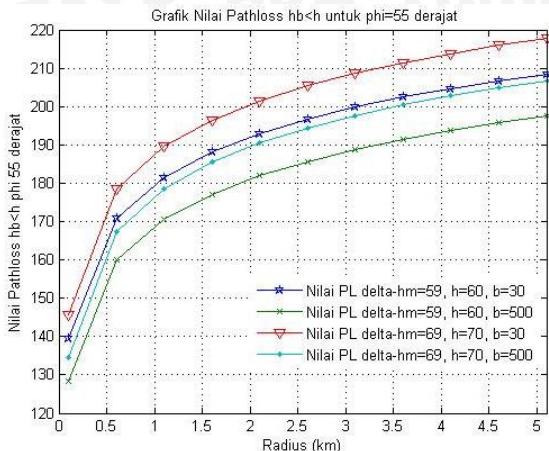
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	69	70	30	145,5934
2	0.6	69	70	30	178,498
3	1.1	69	70	30	189,6293
4	1.6	69	70	30	196,5103
5	2.1	69	70	30	201,5043
6	2.6	69	70	30	205,4264
7	3.1	69	70	30	208,6566
8	3.6	69	70	30	211,4027
9	4.1	69	70	30	213,791
10	4.6	69	70	30	215,9042
11	5.1	69	70	30	217,7992

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.42. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$, $\phi = 55^\circ$, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	PL_NLOS TOTAL
1	0.1	69	70	500	134,5967
2	0.6	69	70	500	167,5014
3	1.1	69	70	500	178,6327
4	1.6	69	70	500	185,5137
5	2.1	69	70	500	190,5076
6	2.6	69	70	500	194,4298
7	3.1	69	70	500	197,66
8	3.6	69	70	500	200,406
9	4.1	69	70	500	202,7944
10	4.6	69	70	500	204,9076
11	5.1	69	70	500	206,8025

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.14. Grafik nilai pathloss $hb < h$ untuk nilai $\phi = 55^\circ$

4.8 Perhitungan Nilai Level Daya Terima (Pr)

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr$$

Berdasarkan persamaan (2-10), dilakukan analisis terhadap nilai level daya terima dengan parameter $Pt = 46$ dBm, $Gt = 18$ dBi, $Gr = 0$, $Gkr = 2$ dB, dan $Gkt = 0$, untuk nilai pathloss yang digunakan pada perhitungan level daya terima menggunakan nilai pathloss yang sudah dihitung pada sub bab sebelumnya dimana perhitungan pathloss menggunakan model *Walfisch-Ikegami*.

Pada analisis nilai level daya terima terdapat dua kondisi yang akan diamati kondisi pertama adalah kondisi dimana antenna *base station* diletakkan lebih tinggi daripada ketinggian gedung disekitar *base station* ($hb > h$), kondisi kedua adalah kondisi dimana antenna *base station* diletakkan lebih rendah daripada ketinggian gedung disekitar *base station* ($hb < h$).

4.8.1.1 Perhitungan Nilai Level Daya Terima (Pr) Kondisi $hb > h$ (NLOS)

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan parameter *Enode-B*, UE, dan pathloss yang ada, maka didapatkan hasil nilai level daya terima kondisi $hb > h$ pada tabel (4.43-4.46).

Tabel 4.43. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb > h$ dengan nilai $\Delta hm = 39$ m, $h = 40$ m, dan $b = 30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Nilai Pr (dBm)
1	0.1	39	40	30	-50,9493
2	0.6	39	40	30	-80,5191
3	1.1	39	40	30	-90,5222
4	1.6	39	40	30	-96,7058
5	2.1	39	40	30	-101,1936
6	2.6	39	40	30	-104,7183
7	3.1	39	40	30	-107,6211
8	3.6	39	40	30	-110,0888
9	4.1	39	40	30	-112,2351
10	4.6	39	40	30	-114,1341
11	5.1	39	40	30	-115,837

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.44. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb > h$ dengan nilai $\Delta hm = 39$ m, $h = 40$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Nilai Pr (dBm)
1	0.1	39	40	500	-39,9527
2	0.6	39	40	500	-69,5224
3	1.1	39	40	500	-79,5256
4	1.6	39	40	500	-85,7092
5	2.1	39	40	500	-90,197
6	2.6	39	40	500	-93,7216
7	3.1	39	40	500	-96,6244
8	3.6	39	40	500	-99,0921
9	4.1	39	40	500	-101,2384
10	4.6	39	40	500	-103,1374
11	5.1	39	40	500	-104,8404

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.45. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb > h$ dengan nilai $\Delta hm = 39$ m, $h = 30$ m, dan $b = 30$ m

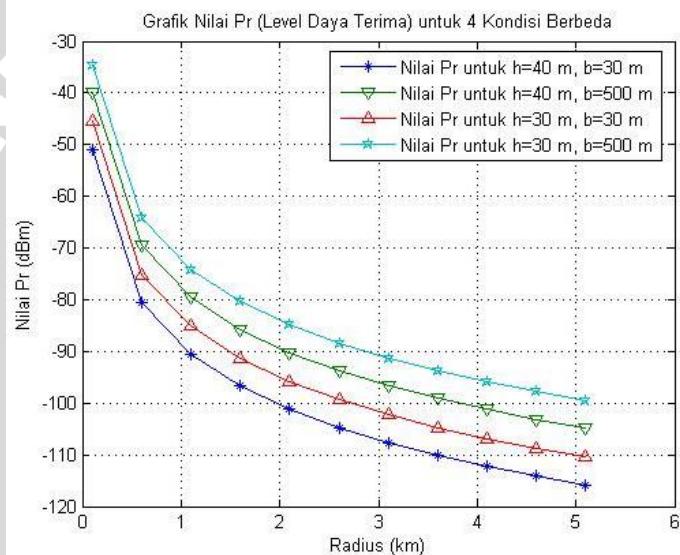
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Nilai Pr (dBm)
1	0.1	29	30	30	-45,5678
2	0.6	29	30	30	-75,1375
3	1.1	29	30	30	-85,1406
4	1.6	29	30	30	-91,3242
5	2.1	29	30	30	-95,812
6	2.6	29	30	30	-99,3367
7	3.1	29	30	30	-102,2395
8	3.6	29	30	30	-104,7072
9	4.1	29	30	30	-106,8535
10	4.6	29	30	30	-108,7525
11	5.1	29	30	30	-110,4554

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.46. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb>h$ dengan nilai $\Delta hm= 39$ m, $h= 30$ m, dan $b=500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Nilai Pr (dBm)
1	0.1	29	30	30	-34,5711
2	0.6	29	30	30	-64,1409
3	1.1	29	30	30	-74,144
4	1.6	29	30	30	-80,3276
5	2.1	29	30	30	-84,8154
6	2.6	29	30	30	-88,3401
7	3.1	29	30	30	-91,2428
8	3.6	29	30	30	-93,7106
9	4.1	29	30	30	-95,8568
10	4.6	29	30	30	-97,7559
11	5.1	29	30	30	-99,4588

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.15 Grafik nilai Pr untuk nilai h dan b yang berbeda

Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik dapat dilihat bahwa nilai level daya terima semakin mengalami penurunan jika berada pada radius yang semakin jauh, begitu juga sebaliknya. Selain itu nilai level daya terima tertinggi ditunjukkan pada saat kondisi gedung sekitar ($h=30$ m) dan jarak antar titik tengah gedung berada pada ($b=500$ m), hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah ketinggian gedung disekitar *base station* maka semakin bagus nilai level daya terima yang dihasilkan dan semakin besar jarak antar titik tengah gedung maka nilai level daya terimanya juga semakin besar.

4.8.1.2 Perhitungan Nilai Level Daya Terima (Pr) Kondisi $hb < h$ (NLOS) untuk Nilai $\phi=20^\circ$

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr$$

Berdasarkan persamaan (2-10), dilakukan analisis terhadap nilai level daya terima dengan parameter $Pt= 46$ dBm, $Gt= 18$ dBi, $Gr= 0$, $Gkr= 2$ dB, dan $Gkt= 0$ dB,

untuk nilai *pathloss* yang digunakan pada perhitungan level daya terima menggunakan nilai *pathloss* yang sudah dihitung pada sub bab sebelumnya dimana perhitungan *pathloss* menggunakan model *Walfisch-Ikegami*.

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan parameter *Enode-B*, UE, dan *pathloss* yang ada, maka didapatkan hasil nilai level daya terima kondisi $hb < h$ pada tabel (4.47-4.50).

Tabel 4.47. Hasil perhitungan nilai *pathloss* kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, dan $b = 30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	59	60	30	-70,4591
2	0.6	59	60	30	-101,9742
3	1.1	59	60	30	-112,6354
4	1.6	59	60	30	-119,2258
5	2.1	59	60	30	-124,0089
6	2.6	59	60	30	-127,7654
7	3.1	59	60	30	-130,8592
8	3.6	59	60	30	-133,4893
9	4.1	59	60	30	-135,7767
10	4.6	59	60	30	-137,8007
11	5.1	59	60	30	-139,6157

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.48. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	59	60	500	-59,4624
2	0.6	59	60	500	-90,9775
3	1.1	59	60	500	-101,6388
4	1.6	59	60	500	-108,2292
5	2.1	59	60	500	-113,0122
6	2.6	59	60	500	-116,7688
7	3.1	59	60	500	-119,8625
8	3.6	59	60	500	-122,4926
9	4.1	59	60	500	-124,7801
10	4.6	59	60	500	-126,8041
11	5.1	59	60	500	-128,6119

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.49. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, dan $b = 30$ m

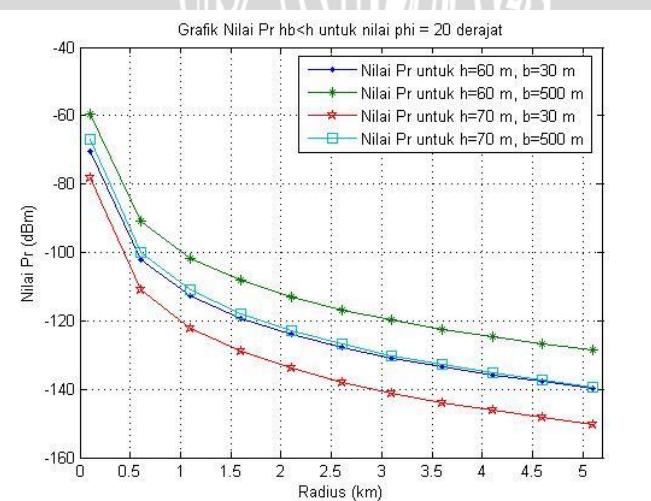
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	69	70	30	-78,0333
2	0.6	69	70	30	-110,9379
3	1.1	69	70	30	-122,0692
4	1.6	69	70	30	-128,9502
5	2.1	69	70	30	-133,9442
6	2.6	69	70	30	-137,8663
7	3.1	69	70	30	-141,0965
8	3.6	69	70	30	-143,8426
9	4.1	69	70	30	-146,2309
10	4.6	69	70	30	-148,3441
11	5.1	69	70	30	-150,2391

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.50. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	69	70	500	-67,0366
2	0.6	69	70	500	-99,9413
3	1.1	69	70	500	-111,0726
4	1.6	69	70	500	-117,9536
5	2.1	69	70	500	-122,9475
6	2.6	69	70	500	-126,8697
7	3.1	69	70	500	-130,0999
8	3.6	69	70	500	-132,8459
9	4.1	69	70	500	-135,2343
10	4.6	69	70	500	-137,3475
11	5.1	69	70	500	-139,2424

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.16. Grafik Pr $hb < h$ untuk nilai (h) dan (b) yang berbeda

Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik dapat dilihat bahwa nilai level daya terima semakin mengalami penurunan jika jarak antara *base station* dengan *user equipment* yang semakin jauh, begitu juga sebaliknya. Selain itu nilai level daya terima tertinggi ditunjukkan pada saat kondisi gedung sekitar ($h=60$ m) dan jarak antar titik tengah gedung berada pada ($b=500$ m), hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi ketinggian gedung disekitar *base station* (h) maka semakin rendah nilai level daya terima yang dihasilkan dan semakin besar jarak antar titik tengah gedung (b) maka nilai level daya terimanya juga semakin besar.

4.8.1.3 Perhitungan Nilai Level Daya Terima (Pr) Kondisi $hb < h$ untuk Nilai $\phi = 55^\circ$

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr$$

Berdasarkan persamaan (2-10), dilakukan analisis terhadap nilai level daya terima dengan parameter $Pt = 46$ dBm, $Gt = 18$ dBi, $Gr = 0$, $Gkr = 2$ dB, dan $Gkt = 0$ dB, untuk nilai *pathloss* yang digunakan pada perhitungan level daya terima menggunakan nilai *pathloss* yang sudah dihitung pada sub bab sebelumnya dimana perhitungan *pathloss* menggunakan model *Walfisch-Ikegami*.

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan parameter *Enode-B*, UE, dan *pathloss* yang ada, maka didapatkan hasil nilai level daya terima kondisi $hb < h$ pada tabel (4.51-4.54).

Tabel 4.51. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, dan $b = 30$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	59	60	30	-77,3791
2	0.6	59	60	30	-108,8942
3	1.1	59	60	30	-119,5554
4	1.6	59	60	30	-126,1458
5	2.1	59	60	30	-130,9289
6	2.6	59	60	30	-134,6854
7	3.1	59	60	30	-137,7792
8	3.6	59	60	30	-140,4093
9	4.1	59	60	30	-142,6967
10	4.6	59	60	30	-144,7207
11	5.1	59	60	30	-146,5357

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.52. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 59$ m, $h = 60$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	B	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	59	60	30	-66,3824
2	0.6	59	60	30	-97,8975
3	1.1	59	60	30	-108,5588
4	1.6	59	60	30	-115,1492
5	2.1	59	60	30	-119,9322
6	2.6	59	60	30	-123,6888
7	3.1	59	60	30	-126,7825
8	3.6	59	60	30	-129,4126
9	4.1	59	60	30	-131,7001
10	4.6	59	60	30	-133,7241
11	5.1	59	60	30	-135,539

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.53. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, dan $b = 30$ m

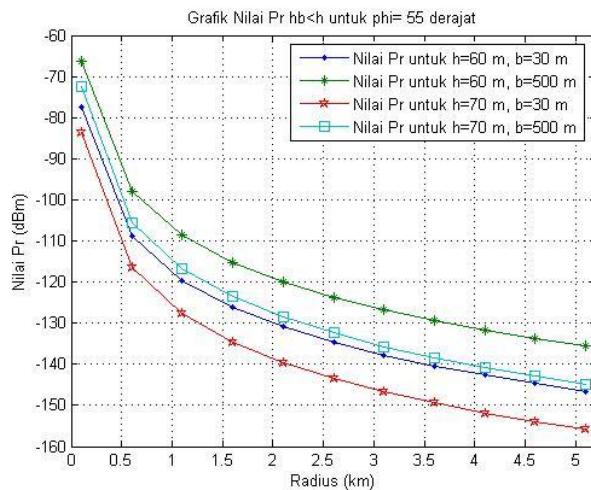
NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	69	70	30	-83,5934
2	0.6	69	70	30	-116,498
3	1.1	69	70	30	-127,6293
4	1.6	69	70	30	-134,5103
5	2.1	69	70	30	-139,5043
6	2.6	69	70	30	-143,4264
7	3.1	69	70	30	-146,6566
8	3.6	69	70	30	-149,4027
9	4.1	69	70	30	-151,791
10	4.6	69	70	30	-153,9042
11	5.1	69	70	30	-155,7992

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.54. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi $hb < h$ dengan nilai $\Delta hm = 69$ m, $h = 70$ m, dan $b = 500$ m

NO	RADIUS (km)	Δhm	h	b	Pr $hb < h$ (dBm)
1	0.1	69	70	30	-72,5967
2	0.6	69	70	30	-105,5014
3	1.1	69	70	30	-116,6327
4	1.6	69	70	30	-123,5137
5	2.1	69	70	30	-128,5076
6	2.6	69	70	30	-132,4298
7	3.1	69	70	30	-135,66
8	3.6	69	70	30	-138,406
9	4.1	69	70	30	-140,7944
10	4.6	69	70	30	-142,9076
11	5.1	69	70	30	-144,8025

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.17. Grafik Pr hb<h untuk nilai h dan b yang berbeda

Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik dapat dilihat bahwa nilai level daya terima semakin mengalami penurunan jika jarak antara *base station* dengan *user equipment* yang semakin jauh, begitu juga sebaliknya. Selain itu nilai level daya terima tertinggi ditunjukkan pada saat kondisi gedung sekitar ($h=60$ m) dan jarak antar titik tengah gedung berada pada ($b=500$ m), hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi ketinggian gedung disekitar *base station* (h) maka semakin rendah nilai level daya terima yang dihasilkan dan semakin besar jarak antar titik tengah gedung (b) maka nilai level daya terimanya juga semakin besar.

4.8.2 Perhitungan Nilai Level Daya Terima (kondisi LOS)

$$Pr = Pt + Gt - Gr - PL - Gkt - Gkr$$

Berdasarkan persamaan (2-10), dilakukan analisis terhadap nilai level daya terima dengan parameter $Pt= 46$ dBm, $Gt= 18$ dBi, $Gr= 0$, $Gkr= 2$ dB, dan $Gkt= 0$ dB, untuk nilai *pathloss* yang digunakan pada perhitungan level daya terima menggunakan nilai *pathloss* yang sudah dihitung pada sub bab sebelumnya dimana perhitungan *pathloss* menggunakan model *Walfisch-Ikegami*.

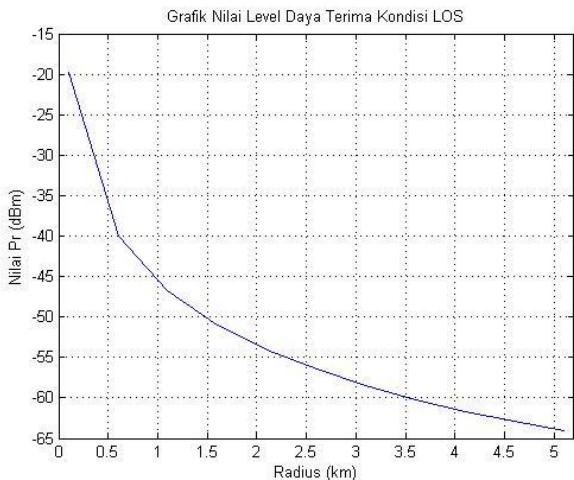
Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan parameter *Enode-B*, UE, dan *pathloss* yang ada, maka didapatkan hasil nilai level daya terima kondisi LOS pada tabel (4.55).



Tabel 4.55. Hasil perhitungan nilai level daya terima kondisi LOS

NO	RADIUS (km)	Nilai Pr (dBm)
1	0.1	-19,7055
2	0.6	-39,9374
3	1.1	-46,7817
4	1.6	-51,0126
5	2.1	-54,0832
6	2.6	-56,4948
7	3.1	-58,4809
8	3.6	-60,1693
9	4.1	-61,6378
10	4.6	-62,9372
11	5.1	-64,1023

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

**Gambar 4.18.** Grafik nilai level daya terima kondisi LOS

Berdasarkan gambar pada grafik dapat dilihat bahwa jarak antara *base station* dengan *user equipment* berpengaruh terhadap nilai level daya terima yang akan dihasilkan, semakin jauh jarak antara BS dengan UE maka nilai level daya terima yang dihasilkan juga semakin kecil.

4.9 Analisis Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Spesifikasi LTE yang digunakan dalam skripsi ini ditunjukkan oleh Tabel (4.56).

Tabel 4.56. Spesifikasi LTE

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

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

Setelah melakukan perhitungan level daya terima untuk jarak *base station* dan *user equipment* yang bervariasi pada sub bab sebelumnya, langkah selanjutnya adalah menghitung daya *noise*. Daya *noise* untuk jumlah subcarrier 1024 dengan *bandwidth system* menggunakan teknik modulasi QPSK sebesar 3.874 MHz dapat dihitung dengan persamaan (2-22).

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

$$N_o = 10 \log_{10}(1,38 \times 10^{-23} \times 300 \times 3,847 \times 10^6) + 7$$

$$N_o = -130,9484 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai daya *noise* dengan menggunakan nilai *bandwidth* sistem yang berbeda. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel (4.57).

Tabel 4.57. Nilai *bandwidth* sistem untuk teknik modulasi berbeda.

Modulasi	Code Rate	Noise Sistem (dBm)
QPSK	$\frac{1}{2}$	-130,9484
16 QAM	$\frac{1}{2}$	-130,9484
16 QAM	$\frac{3}{4}$	-129,1874
64 QAM	$\frac{3}{4}$	-129,1874
64 QAM	$\frac{4}{5}$	-127,9381

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Nilai SNR pada kondisi NLOS dihitung menggunakan nilai daya terima (P_r NLOS) sesuai tabel (4.43-4.50), dan daya *noise* sesuai tabel (4.57). Dengan menggunakan persamaan (2-21) nilai SNR kondisi NLOS $hb>h$ dengan $h= 40$ m, $b= 30$ m teknik modulasi QPSK adalah sebagai berikut:

$$SNR_{(dB)} = P_r \text{ (dBm)} - N_o \text{ (dBm)}$$

$$SNR_{(dB)} = (-50,9493) - (-130,9848)$$

$$SNR_{(dB)} = 79,9991 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama,dapat diperoleh SNR pada kondisi LOS dan NLOS untuk kondisi $hb>h$ dan $hb<h$ dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM, untuk jarak antara *base station* dan *user equipment* hingga 5.1 km.

Tabel 4.58. Nilai SNR untuk kondisi $hb>h$ dengan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai SNR (dB) $hb>h$							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	79,9991	90,9957	85,3806	96,3773	79,9991	90,9957	85,3806	96,3773
0.6	50,4293	61,426	55,8109	66,8075	50,4293	61,426	55,8109	66,8075
1.1	40,4262	51,4228	45,8078	56,8044	40,4262	51,4228	45,8078	56,8044
1.6	34,2426	45,2392	39,6242	50,6208	34,2426	45,2392	39,6242	50,6208
2.1	29,7548	40,7514	35,1364	46,133	29,7548	40,7514	35,1364	46,133
2.6	26,2301	37,2268	31,6117	42,6083	26,2301	37,2268	31,6117	42,6083
3.1	23,3273	34,324	28,7089	39,7056	23,3273	34,324	28,7089	39,7056
3.6	20,8596	31,8563	26,2412	37,2378	20,8596	31,8563	26,2412	37,2378
4.1	18,7133	29,71	24,0949	35,0916	18,7133	29,71	24,0949	35,0916
4.6	16,8143	27,811	22,1959	33,1925	16,8143	27,811	22,1959	33,1925
5.1	15,1114	26,108	20,493	31,4896	15,1114	26,108	20,493	31,4896

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.59. Nilai SNR untuk kondisi $hb>h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM $\frac{4}{5}$

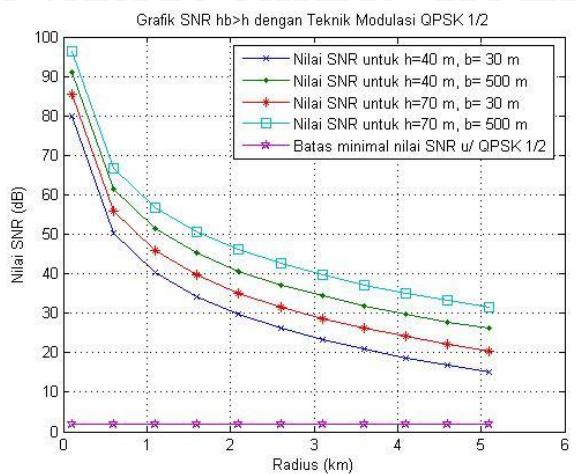
Radius (km)	Nilai SNR (dB) $hb>h$											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	78,2381	89,2347	83,6196	94,6163	78,2381	89,2347	83,6196	94,6163	76,9888	87,9854	82,3703	93,367
0.6	48,6683	59,665	54,0499	65,0465	48,6683	59,665	54,0499	65,0465	47,419	58,4157	52,8006	63,7972
1.1	38,6652	49,6618	44,0468	55,0434	38,6652	49,6618	44,0468	55,0434	37,4159	48,4125	42,7975	53,7941
1.6	32,4816	43,4782	37,8632	48,8598	32,4816	43,4782	37,8632	48,8598	31,2323	42,2289	36,6139	47,6105
2.1	27,9938	38,9904	33,3754	44,372	27,9938	38,9904	33,3754	44,372	26,7445	37,7411	32,1261	43,1227
2.6	24,4691	35,4658	29,8507	40,8473	24,4691	35,4658	29,8507	40,8473	23,2198	34,2165	28,6014	39,598
3.1	21,5663	32,563	26,9479	37,9446	21,5663	32,563	26,9479	37,9446	20,317	31,3137	25,6986	36,6953
3.6	19,0986	30,0953	24,4802	35,4768	19,0986	30,0953	24,4802	35,4768	17,8493	28,846	23,2309	34,2275
4.1	16,9523	27,949	22,3339	33,3306	16,9523	27,949	22,3339	33,3306	15,703	26,6997	21,0846	32,0813
4.6	15,0533	26,05	20,4349	31,4315	15,0533	26,05	20,4349	31,4315	13,804	24,8007	19,1856	30,1822
5.1	13,3504	24,347	18,732	29,7286	13,3504	24,347	18,732	29,7286	12,1011	23,0977	17,4827	28,4793

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

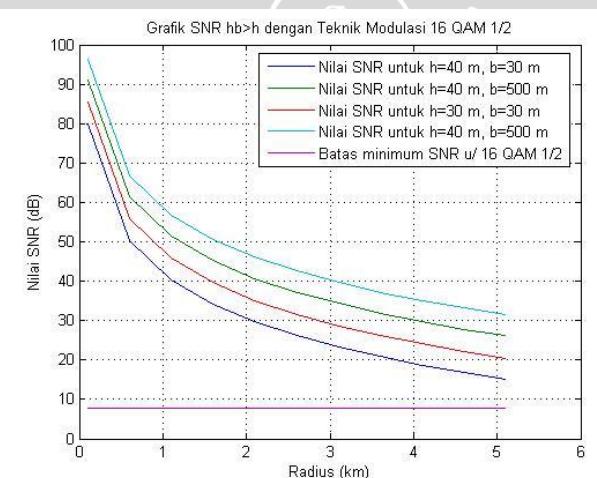


NB:

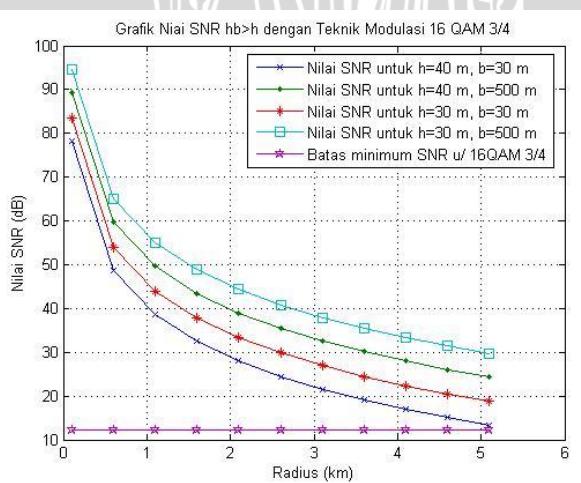
Nilai dengan indikator warna kuning menunjukkan bahwa nilai SNR sudah dibawah standar minimal.



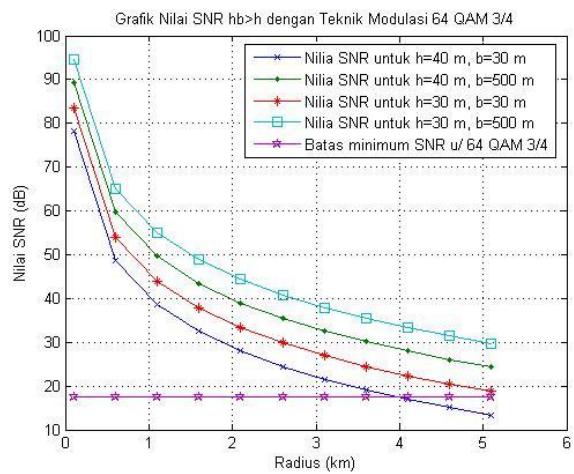
Gambar 4.19. Grafik nilai SNR hb>h teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$



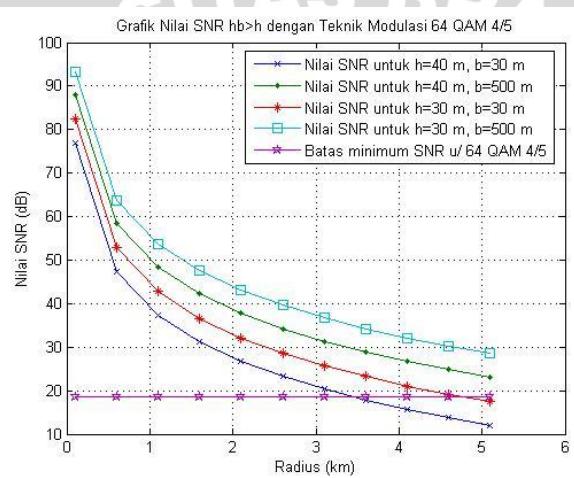
Gambar 4.20. Grafik nilai SNR hb>h teknik modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$



Gambar 4.21. Grafik nilai SNR hb>h teknik modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$



Gambar 4.22. Grafik nilai SNR $hb>h$ teknik modulasi 64 QAM 3/4



Gambar 4.23. Grafik nilai SNR $hb>h$ teknik modulasi 64 QAM 4/5

Berdasarkan data pada tabel (4.58-4.59) dan gambar (4.19-4.59) dapat dilihat bahwa untuk nilai SNR kondisi $hb>h$ dengan teknik modulasi 64 QAM 3/4 pada jarak jangkau 3,967 km nilai SNR berada pada ambang batas minimal yang dianjurkan untuk LTE, dimana ambang batas SNR minimumnya sebesar 17,5 dB, hal ini berarti untuk perencanaan jaringan dengan teknik modulasi tersebut disarankan tidak $> 3,967$ km, (data tabel dengan tanda warna kuning menunjukkan nilai SNR dibawah nilai minimal).

Sedangkan untuk teknik modulasi 64 QAM 4/5 kondisi $hb>h$ untuk nilai $h = 40$ m, $b = 30$ m jarak jangkau atau radius maksimum yang disarankan adalah $< 3,44$ km, karena untuk radius $> 3,44$ km nilai SNR sudah melewati ambang batas minimal yang disarankan, dan untuk nilai $h=30$, $b= 30$ m pada teknik modulasi 64 QAM 4/5 radius yang disarankan adalah $< 4,767$ km.

Tabel 4.60. Nilai SNR untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai SNR (dB) $hb < h$							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	60,4893	71,486	52,9151	63,9118	60,4893	71,486	52,9151	63,9118
0.6	28,9742	39,9709	20,0105	31,0071	28,9742	39,9709	20,0105	31,0071
1.1	18,313	29,3096	8,8792	19,8758	18,313	29,3096	8,8792	19,8758
1.6	11,7226	22,7192	1,9982	12,9948	11,7226	22,7192	1,9982	12,9948
2.1	6,9395	17,9362	-2,9958	8,0009	6,9395	17,9362	-2,9958	8,0009
2.6	3,183	14,1796	-6,9179	4,0787	3,183	14,1796	-6,9179	4,0787
3.1	0,0892	11,0859	-10,148	0,8485	0,0892	11,0859	-10,148	0,8485
3.6	-2,5409	8,4558	-12,894	-1,8975	-2,5409	8,4558	-12,894	-1,8975
4.1	-4,8283	6,1683	-15,283	-4,2859	-4,8283	6,1683	-15,283	-4,2859
4.6	-6,8523	4,1443	-17,396	-6,3991	-6,8523	4,1443	-17,396	-6,3991
5.1	-8,6673	2,3294	-19,291	-8,294	-8,6673	2,3294	-19,291	-8,294

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.61. Nilai SNR untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM $\frac{4}{5}$

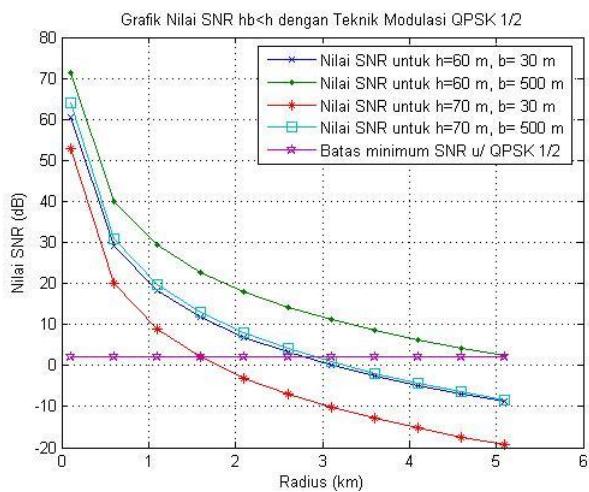
Radius (km)	Nilai SNR (dB) $hb < h$											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	58,7283	69,725	51,1541	62,1508	58,7283	69,725	51,1541	62,1508	57,479	68,4757	49,9048	60,9015
0.6	27,2132	38,2099	18,2495	29,2461	27,2132	38,2099	18,2495	29,2461	25,9639	36,9606	17,0002	27,9968
1.1	16,552	27,5486	7,1182	18,1148	16,552	27,5486	7,1182	18,1148	15,3027	26,2993	5,8689	16,8655
1.6	9,9616	20,9582	0,2372	11,2338	9,9616	20,9582	0,2372	11,2338	8,7123	19,7089	-1,0121	9,9845
2.1	5,1785	16,1752	-4,7568	6,2399	5,1785	16,1752	-4,7568	6,2399	3,9292	14,9259	-6,0061	4,9906
2.6	1,422	12,4186	-8,6789	2,3177	1,422	12,4186	-8,6789	2,3177	0,1727	11,1693	-9,9282	1,0684
3.1	-1,6718	9,3249	-11,909	-0,9125	-1,6718	9,3249	-11,909	-0,9125	-2,9211	8,0756	-13,158	-2,1618
3.6	-4,3019	6,6948	-14,655	-3,6585	-4,3019	6,6948	-14,655	-3,6585	-5,5512	5,4455	-15,905	-4,9078
4.1	-6,5893	4,4073	-17,044	-6,0469	-6,5893	4,4073	-17,044	-6,0469	-7,8386	3,158	-18,293	-7,2962
4.6	-8,6133	2,3833	-19,157	-8,1601	-8,6133	2,3833	-19,157	-8,1601	-9,8626	1,134	-20,406	-9,4094
5.1	-10,428	0,5684	-21,052	-10,055	-10,428	0,5684	-21,052	-10,055	-11,678	-0,6809	-22,301	-11,304

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

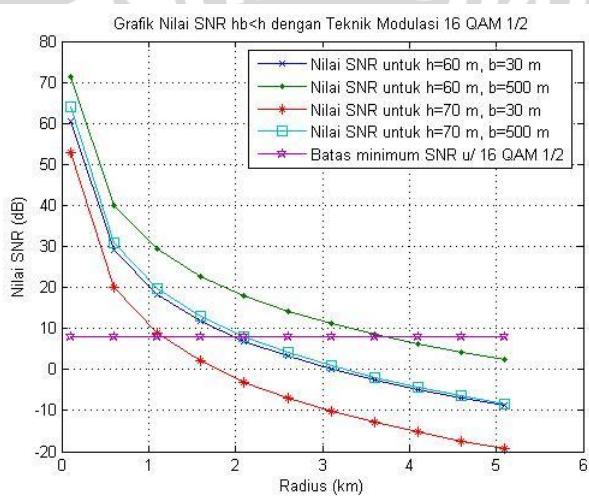
NB:

Nilai dengan indikator warna kuning menunjukkan bahwa nilai SNR sudah dibawah standar minimal.

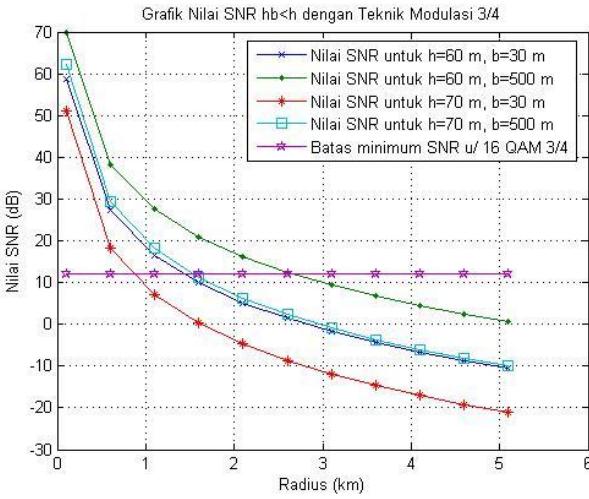




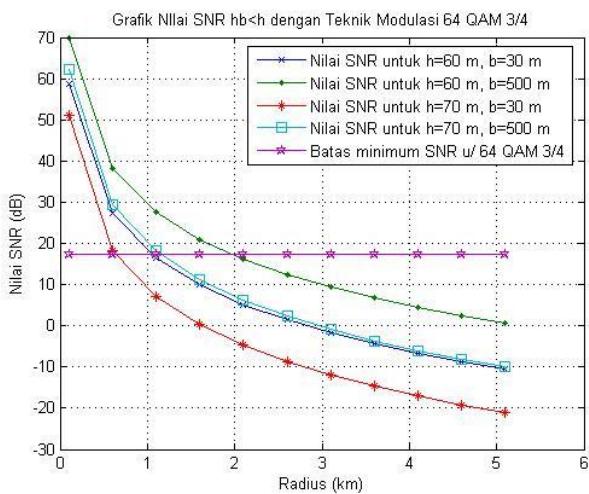
Gambar 4.24. Grafik nilai SNR hb<h teknik modulasi QPSK 1/2



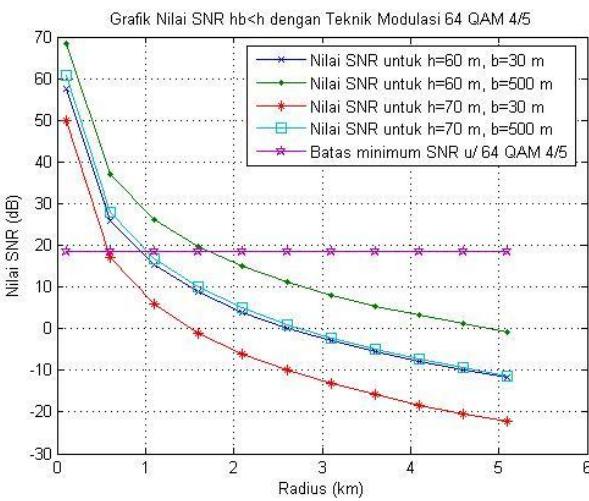
Gambar 4.25. Grafik nilai SNR hb<h teknik modulasi 16 QAM 1/2



Gambar 4.26. Grafik nilai SNR hb<h teknik modulasi 16 QAM 3/4



Gambar 4.27. Grafik nilai SNR hb<h teknik modulasi 64QAM 3/4



Gambar 4.28. Grafik nilai SNR hb<h teknik modulasi 64QAM 3/4

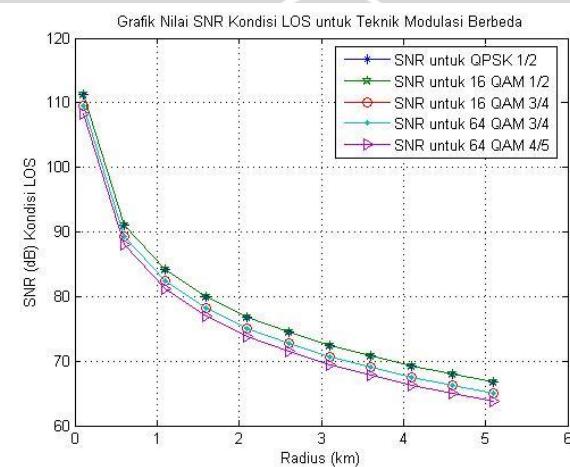
Berdasarkan data pada tabel (4.60-4.61) dan gambar (4.24-4.28) dapat dilihat bahwa nilai SNR kondisi $hb < h$ memiliki jangkauan yang lebih rendah daripada kondisi $hb > h$, hal ini dapat dilihat hasil dari data hasil perhitungan pada tabel (4.60-4.61), dimana nilai SNR dengan warna kuning merupakan nilai SNR dibawah standar minimal yang disarankan

Dengan cara yang sama didapatkan nilai SNR untuk kondisi LOS, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel (4.62).

Tabel 4.62. Nilai SNR untuk kondisi LOS dengan teknik modulasi berbeda

Radius (km)	SNR (dB) kondisi LOS				
	QPSK 1/2	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 QAM 3/4	64 QAM 4/5
0.1	111,2429	111,2429	109,4819	109,4819	108,2326
0.6	91,011	91,011	89,25	89,25	88,0007
1.1	84,1667	84,1667	82,4057	82,4057	81,1564
1.6	79,9358	79,9358	78,1748	78,1748	76,9255
2.1	76,8652	76,8652	75,1042	75,1042	73,8549
2.6	74,4536	74,4536	72,6926	72,6926	71,4433
3.1	72,4675	72,4675	70,7065	70,7065	69,4572
3.6	70,7791	70,7791	69,0181	69,0181	67,7688
4.1	69,3106	69,3106	67,5496	67,5496	66,3003
4.6	68,0112	68,0112	66,2502	66,2502	65,0009
5.1	66,8461	66,8461	65,0851	65,0851	63,8358

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

**Gambar 4.29.** Grafik nilai SNR kondisi LOS untuk teknik modulasi berbeda

Gambar (4.19-4.28) merupakan gambar grafik yang menunjukkan pengaruh jarak *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR dengan ketinggian gedung disekitar *base station* dan jarak antar titik tengah gedung yang bervariasi ($h= 40$ m dan 30 m. $b=30$ m dan 500 m). dari gambar grafik dapat dilihat bahwa nilai SNR akan semakin kecil jika jarak antara *base station* dengan *user equipment* semakin jauh.

Selain itu ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antar titik tengah gedung disekitar BS juga berpengaruh terhadap nilai SNR yang dihasilkan semakin tinggi gedung disekitar BS maka nilai SNR nya semakin kecil, dan semakin lebar jarak antar gedung disekitar BS maka nilai SNR nya semakin besar.

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

1. Nilai SNR dipengaruhi oleh jarak *base station* dan *user equipment*. Semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
2. Ketinggian gedung disekitar BS dan jarak antar titik tengah gedung disekitar BS juga berpengaruh terhadap nilai SNR yang dihasilkan, semakin tinggi gedung disekitar BS maka nilai SNR nya semakin kecil, dan semakin besar jarak antar titik tengah gedung di sekitar BS maka semakin besar nilai SNR yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada tabel (4.58-4.61).
3. Teknik modulasi berpengaruh terhadap nilai SNR, tetapi tidak terlalu membuat perubahan yang sangat signifikan. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan, dimana terjadi perubahan yang sangat kecil pada nilai SNR yang dihitung menggunakan teknik modulasi yang berbeda. Akan tetapi nilai SNR dipengaruhi oleh *code rate*/kecepatan laju data pada suatu teknik modulasi. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi 16QAM dengan nilai laju data yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan laju data. Begitu pula untuk nilai SNR sistem yang menggunakan teknik modulasi 64-QAM

- $SNR_{(dB)} = 10\log_{10} (s)$

$$79,9991 = 10\log_{10} (s)$$

$$s = 10^{7,9991} = 99,9792 \times 10^6$$

Untuk nilai $SNR = 79,9991 \text{ dB} = 99,9 \times 10^6$ dengan durasi CP 0,07, dapat diperoleh nilai SNR sistem dengan menggunakan Persamaan (2-16) seperti berikut :

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

$$SNR_{sistem} = (1 - 0,07) \times 99,9792 \times 10^6$$

$$SNR_{sistem} = 92,9070 \times 10^6$$

- $SNR_{sistem} = 10\log_{10} (92,9070 \times 10^6)$

$$SNR_{sistem} = 79,6839 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama,dapat diperoleh SNR pada kondisi LOS dan NLOS untuk kondisi $hb > h$ dan $hb < h$ dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM, untuk jarak antara *base station* dan *user equipment* hingga 5.1 km.

Tabel 4.63. Nilai SNR sistem untuk kondisi $hb>h$ dengan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai SNR Sistem $hb>h$ (dB)							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	79,6839	90,6805	85,0654	96,0621	79,6839	90,6805	85,0654	96,0621
0.6	50,1141	61,1108	55,4957	66,4923	50,1141	61,1108	55,4957	66,4923
1.1	40,111	51,1076	45,4926	56,4892	40,111	51,1076	45,4926	56,4892
1.6	33,9274	44,924	39,309	50,3056	33,9274	44,924	39,309	50,3056
2.1	29,4396	40,4362	34,8212	45,8178	29,4396	40,4362	34,8212	45,8178
2.6	25,9149	36,9116	31,2965	42,2931	25,9149	36,9116	31,2965	42,2931
3.1	23,0121	34,0088	28,3937	39,3904	23,0121	34,0088	28,3937	39,3904
3.6	20,5444	31,5411	25,926	36,9226	20,5444	31,5411	25,926	36,9226
4.1	18,3981	29,3948	23,7797	34,7764	18,3981	29,3948	23,7797	34,7764
4.6	16,4991	27,4958	21,8807	32,8773	16,4991	27,4958	21,8807	32,8773
5.1	14,7962	25,7928	20,1778	31,1744	14,7962	25,7928	20,1778	31,1744

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.64. Nilai SNR sistem untuk kondisi $hb>h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM 4/5

Radius (km)	Nilai SNR Sistem $hb>h$ (dB)											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	77,9229	88,9195	83,3044	94,3011	77,9229	88,9195	83,3044	94,3011	76,6736	87,6702	82,0551	93,0518
0.6	48,3531	59,3498	53,7347	64,7313	48,3531	59,3498	53,7347	64,7313	47,1038	58,1005	52,4854	63,482
1.1	38,35	49,3466	43,7316	54,7282	38,35	49,3466	43,7316	54,7282	37,1007	48,0973	42,4823	53,4789
1.6	32,1664	43,163	37,548	48,5446	32,1664	43,163	37,548	48,5446	30,9171	41,9137	36,2987	47,2953
2.1	27,6786	38,6752	33,0602	44,0568	27,6786	38,6752	33,0602	44,0568	26,4293	37,4259	31,8109	42,8075
2.6	24,1539	35,1506	29,5355	40,5321	24,1539	35,1506	29,5355	40,5321	22,9046	33,9013	28,2862	39,2828
3.1	21,2511	32,2478	26,6327	37,6294	21,2511	32,2478	26,6327	37,6294	20,0018	30,9985	25,3834	36,3801
3.6	18,7834	29,7801	24,165	35,1616	18,7834	29,7801	24,165	35,1616	17,5341	28,5308	22,9157	33,9123
4.1	16,6371	27,6338	22,0187	33,0154	16,6371	27,6338	22,0187	33,0154	15,3878	26,3845	20,7694	31,7661
4.6	14,7381	25,7348	20,1197	31,1163	14,7381	25,7348	20,1197	31,1163	13,4888	24,4855	18,8704	29,867
5.1	13,0352	24,0318	18,4168	29,4134	13,0352	24,0318	18,4168	29,4134	11,7859	22,7825	17,1675	28,1641

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Tabel 4.65. Nilai SNR sistem untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai SNR Sistem $hb < h$ (dB)							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	60,1741	71,1708	52,5999	63,5966	60,1741	71,1708	52,5999	63,5966
0.6	28,659	39,6557	19,6953	30,6919	28,659	39,6557	19,6953	30,6919
1.1	17,9978	28,9944	8,564	19,5606	17,9978	28,9944	8,564	19,5606
1.6	11,4074	22,404	1,683	12,6796	11,4074	22,404	1,683	12,6796
2.1	6,6243	17,621	-3,311	7,6857	6,6243	17,621	-3,311	7,6857
2.6	2,8678	13,8644	-7,2331	3,7635	2,8678	13,8644	-7,2331	3,7635
3.1	-0,226	10,7707	-10,4633	0,5333	-0,226	10,7707	-10,4633	0,5333
3.6	-2,8561	8,1406	-13,2094	-2,2127	-2,8561	8,1406	-13,2094	-2,2127
4.1	-5,1435	5,8531	-15,5977	-4,6011	-5,1435	5,8531	-15,5977	-4,6011
4.6	-7,1675	3,8291	-17,7109	-6,7143	-7,1675	3,8291	-17,7109	-6,7143
5.1	-8,9825	2,0142	-19,6059	-8,6092	-8,9825	2,0142	-19,6059	-8,6092

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.66. Nilai SNR sistem untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM $\frac{4}{5}$

Radius (km)	Nilai SNR Sistem $hb < h$ (dB)											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	58,4131	69,4098	50,8389	61,8356	58,4131	69,4098	50,8389	61,8356	57,1638	68,1605	49,5896	60,5863
0.6	26,898	37,8947	17,9343	28,9309	26,898	37,8947	17,9343	28,9309	25,6487	36,6454	16,685	27,6816
1.1	16,2368	27,2334	6,803	17,7996	16,2368	27,2334	6,803	17,7996	14,9875	25,9841	5,5537	16,5503
1.6	9,6464	20,643	-0,078	10,9186	9,6464	20,643	-0,078	10,9186	8,3971	19,3937	-1,3273	9,6693
2.1	4,8633	15,86	-5,072	5,9247	4,8633	15,86	-5,072	5,9247	3,614	14,6107	-6,3213	4,6754
2.6	1,1068	12,1034	-8,9941	2,0025	1,1068	12,1034	-8,9941	2,0025	-0,1425	10,8541	-10,2434	0,7532
3.1	-1,987	9,0097	-12,2243	-1,2277	-1,987	9,0097	-12,2243	-1,2277	-3,2363	7,7604	-13,4736	-2,477
3.6	-4,6171	6,3796	-14,9704	-3,9737	-4,6171	6,3796	-14,9704	-3,9737	-5,8664	5,1303	-16,2197	-5,223
4.1	-6,9045	4,0921	-17,3587	-6,3621	-6,9045	4,0921	-17,3587	-6,3621	-8,1538	2,8428	-18,608	-7,6114
4.6	-8,9285	2,0681	-19,4719	-8,4753	-8,9285	2,0681	-19,4719	-8,4753	-10,1778	0,8188	-20,7212	-9,7246
5.1	-10,7435	0,2532	-21,3669	-10,3702	-10,7435	0,2532	-21,3669	-10,3702	-11,9928	-0,9961	-22,6162	-11,6195

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Dengan cara yang sama akan didapat nilai SNR system untuk kondisi LOS. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel (4.67).



Tabel 4.67. Nilai SNR sistem kondisi LOS dengan teknik modulasi berbeda

Radius (km)	SNR sistem (dB) kondisi LOS				
	QPSK 1/2	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 Qam 3/4	64 QAM 4/5
0.1	110,9277	110,9277	109,1667	109,1667	107,9174
0.6	90,6958	90,6958	88,9348	88,9348	87,6855
1.1	83,8515	83,8515	82,0905	82,0905	80,8412
1.6	79,6206	79,6206	77,8596	77,8596	76,6103
2.1	76,55	76,55	74,789	74,789	73,5397
2.6	74,1384	74,1384	72,3774	72,3774	71,1281
3.1	72,1523	72,1523	70,3913	70,3913	69,142
3.6	70,4639	70,4639	68,7029	68,7029	67,4536
4.1	68,9954	68,9954	67,2344	67,2344	65,9851
4.6	67,696	67,696	65,935	65,935	64,6857
5.1	66,5309	66,5309	64,7699	64,7699	63,5206

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

4.10 Analisis Bit Error Rate (BER)

Bit error rate (BER) merupakan banyaknya bit yang salah dalam pentransmisian 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 QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

Nilai E_b/N_o dengan teknik modulasi QPSK dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-24). Nilai SNR sistem yang digunakan sesuai Tabel (4.63-4.66), untuk nilai *bandwidth* sistem dan laju data yang digunakan pada teknik modulasi QPSK adalah 3,874 MHz dan 7,2 Mbps. Hasil perhitungan adalah seperti berikut :

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR_{sistem} + 10 \log_{10} \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 79,6839 + 10 \log_{10} \frac{3,874 \times 10^6}{7,2 \times 10^6} = 76,9922 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai E_b/N_o untuk jarak BS dan UE 100 m sampai 5100 m dengan spasi jarak 500 m dan parameter tinggi gedung sekitar dan jarak antar titik tengah gedung yang berbeda serta teknik modulasi yang berbeda untuk kondisi $hb > h$ dan $hb < h$. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan oleh tabel (4.68-4.71).

Tabel 4.68. Nilai Eb/N0 untuk kondisi hb>h dengan teknik modulasi QPSK 1/2 dan 16 QAM ½

Radius (km)	Nilai Eb/N0 hb>h							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	76,9922	87,9888	82,3737	93,3704	73,9819	84,9785	79,3634	90,3601
0.6	47,4224	58,4191	52,804	63,8006	44,4121	55,4088	49,7937	60,7903
1.1	37,4193	48,4159	42,8009	53,7975	34,409	45,4056	39,7906	50,7872
1.6	31,2357	42,2323	36,6173	47,6139	28,2254	39,222	33,607	44,6036
2.1	26,7479	37,7445	32,1295	43,1261	23,7376	34,7342	29,1192	40,1158
2.6	23,2232	34,2199	28,6048	39,6014	20,2129	31,2096	25,5945	36,5911
3.1	20,3204	31,3171	25,702	36,6987	17,3101	28,3068	22,6917	33,6884
3.6	17,8527	28,8494	23,2343	34,2309	14,8424	25,8391	20,224	31,2206
4.1	15,7064	26,7031	21,088	32,0847	12,6961	23,6928	18,0777	29,0744
4.6	13,8074	24,8041	19,189	30,1856	10,7971	21,7938	16,1787	27,1753
5.1	12,1045	23,1011	17,4861	28,4827	9,0942	20,0908	14,4758	25,4724

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.69. Nilai Eb/N0 untuk Kondisi hb>h dengan Teknik Modulasi 16 QAM ¾, 64 QAM ¾, dan 64 QAM 4/5

Radius (km)	Nilai Eb/N0 hb>h											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m	h= 40 m & b= 30 m	h= 40 m & b= 500 m	h= 30 m & b= 30 m	h= 30 m & b= 500 m
0.1	72,2209	83,2175	77,6024	88,5991	70,46	81,4566	75,8415	86,8382	69,2107	80,2073	74,5922	85,5889
0.6	42,6511	53,6478	48,0327	59,0293	40,8902	51,8869	46,2718	57,2684	39,6409	50,6376	45,0225	56,0191
1.1	32,648	43,6446	38,0296	49,0262	30,8871	41,8837	36,2687	47,2653	29,6378	40,6344	35,0194	46,016
1.6	26,4644	37,461	31,846	42,8426	24,7035	35,7001	30,0851	41,0817	23,4542	34,4508	28,8358	39,8324
2.1	21,9766	32,9732	27,3582	38,3548	20,2157	31,2123	25,5973	36,5939	18,9664	29,963	24,348	35,3446
2.6	18,4519	29,4486	23,8335	34,8301	16,691	27,6877	22,0726	33,0692	15,4417	26,4384	20,8233	31,8199
3.1	15,5491	26,5458	20,9307	31,9274	13,7882	24,7849	19,1698	30,1665	12,5389	23,5356	17,9205	28,9172
3.6	13,0814	24,0781	18,463	29,4596	11,3205	22,3172	16,7021	27,6987	10,0712	21,0679	15,4528	26,4494
4.1	10,9351	21,9318	16,3167	27,3134	9,1742	20,1709	14,5558	25,5525	7,9249	18,9216	13,3065	24,3032
4.6	9,0361	20,0328	14,4177	25,4143	7,2752	18,2719	12,6568	23,6534	6,0259	17,0226	11,4075	22,4041
5.1	7,3332	18,3298	12,7148	23,7114	5,5723	16,5689	10,9539	21,9505	4,323	15,3196	9,7046	20,7012

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.70. Nilai Eb/N0 untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi QPSK 1/2 dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai Eb/N0 $hb < h$							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	57,4824	68,4791	49,9082	60,9049	54,4721	65,4688	46,8979	57,8946
0.6	25,9673	36,964	17,0036	28,0002	22,957	33,9537	13,9933	24,9899
1.1	15,3061	26,3027	5,8723	16,8689	12,2958	23,2924	2,862	13,8586
1.6	8,7157	19,7123	-1,0087	9,9879	5,7054	16,702	-4,019	6,9776
2.1	3,9326	14,9293	-6,0027	4,994	0,9223	11,919	-9,013	1,9837
2.6	0,1761	11,1727	-9,9248	1,0718	-2,8342	8,1624	-12,9351	-1,9385
3.1	-2,9177	8,079	-13,155	-2,1584	-5,928	5,0687	-16,1653	-5,1687
3.6	-5,5478	5,4489	-15,9011	-4,9044	-8,5581	2,4386	-18,9114	-7,9147
4.1	-7,8352	3,1614	-18,2894	-7,2928	-10,8455	0,1511	-21,2997	-10,3031
4.6	-9,8592	1,1374	-20,4026	-9,406	-12,8695	-1,8729	-23,4129	-12,4163
5.1	-11,6742	-0,6775	-22,2976	-11,3009	-14,6845	-3,6878	-25,3079	-14,3112

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.71. Nilai Eb/N0 untuk kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM 4/5

Radius (km)	Nilai Eb/N0 $hb < h$											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	52,7111	63,7078	45,1369	56,1336	50,9502	61,9469	43,376	54,3727	49,7009	60,6976	42,1267	53,1234
0.6	21,196	32,1927	12,2323	23,2289	19,4351	30,4318	10,4714	21,468	18,1858	29,1825	9,2221	20,2187
1.1	10,5348	21,5314	1,101	12,0976	8,7739	19,7705	-0,6599	10,3367	7,5246	18,5212	-1,9092	9,0874
1.6	3,9444	14,941	-5,78	5,2166	2,1835	13,1801	-7,5409	3,4557	0,9342	11,9308	-8,7902	2,2064
2.1	-0,8387	10,158	-10,774	0,2227	-2,5996	8,3971	-12,5349	-1,5382	-3,8489	7,1478	-13,7842	-2,7875
2.6	-4,5952	6,4014	-14,6961	-3,6995	-6,3561	4,6405	-16,457	-5,4604	-7,6054	3,3912	-17,7063	-6,7097
3.1	-7,689	3,3077	-17,9263	-6,9297	-9,4499	1,5468	-19,6872	-8,6906	-10,6992	0,2975	-20,9365	-9,9399
3.6	-10,3191	0,6776	-20,6724	-9,6757	-12,08	-1,0833	-22,4333	-11,4366	-13,3293	-2,3326	-23,6826	-12,6859
4.1	-12,6065	-1,6099	-23,0607	-12,0641	-14,3674	-3,3708	-24,8216	-13,825	-15,6167	-4,6201	-26,0709	-15,0743
4.6	-14,6305	-3,6339	-25,1739	-14,1773	-16,3914	-5,3948	-26,9348	-15,9382	-17,6407	-6,6441	-28,1841	-17,1875
5.1	-16,4455	-5,4488	-27,0689	-16,0722	-18,2064	-7,2097	-28,8298	-17,8331	-19,4557	-8,459	-30,0791	-19,0824

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Dengan menggunakan cara yang sama akan didapatkan nilai Eb/N0 untuk kondisi LOS. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel (4.72).

Tabel 4.72. Nilai Eb/N0 untuk kondisi LOS dengan teknik modulasi berbeda

Radius (km)	Nilai Eb/N0 Kondisi LOS				
	QPSK 1/2	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 Qam 3/4	64 QAM 4/5
0.1	108,236	105,2257	103,4647	101,7038	100,4545
0.6	88,0041	84,9938	83,2328	81,4719	80,2226
1.1	81,1598	78,1495	76,3885	74,6276	73,3783
1.6	76,9289	73,9186	72,1576	70,3967	69,1474
2.1	73,8583	70,848	69,087	67,3261	66,0768
2.6	71,4467	68,4364	66,6754	64,9145	63,6652
3.1	69,4606	66,4503	64,6893	62,9284	61,6791
3.6	67,7722	64,7619	63,0009	61,24	59,9907
4.1	66,3037	63,2934	61,5324	59,7715	58,5222
4.6	65,0043	61,994	60,233	58,4721	57,2228
5.1	63,8392	60,8289	59,0679	57,307	56,0577

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Dari Tabel dapat diketahui bahwa nilai E_b/N_0 dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan. Hal ini dikarenakan teknik modulasi menentukan laju data total, dimana laju data total dengan teknik modulasi 64-QAM adalah yang tertinggi dibandingkan teknik modulasi lainnya. Nilai E_b/N_0 semakin kecil ketika laju data semakin tinggi, sehingga nilai E_b/N_0 tertinggi didapat saat menggunakan teknik modulasi QPSK. Hal ini dikarenakan nilai laju data total QPSK adalah yang terendah dibandingkan nilai laju data teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM.

Selain teknik modulasi, jarak *base station* dan *user equipment* juga berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 . Nilai E_b/N_0 akan semakin menurun ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Disisi lain ketinggian gedung disekitar *base station* dan jarak titik tengah antar gedung juga berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 , semakin tinggi ketinggian gedung di sekitar *base station* maka semakin rendah nilai E_b/N_0 nya, dan semakin besar jarak titik tengah antar gedungnya maka semakin besar nilai E_b/N_0 nya. Hal ini dikarenakan ketinggian gedung disekitar *base station* dan jarak antar titik tengah gedung berpengaruh terhadap nilai SNR sistem Seperti diketahui, dari rumus E_b/N_0 , bahwa SNR sistem merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung nilai E_b/N_0 .

Setelah diperoleh nilai E_b/N_0 , selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai BER sesuai dengan Persamaan sampai Persamaan. Nilai BER tergantung dari teknik modulasi yang digunakan, dan nilainya diharapkan sekecil mungkin.

1. Modulasi QPSK

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{2 E_b}{N_0}} \\ &= 10^{-6} \end{aligned}$$

2. Modulasi 16-QAM

$$\begin{aligned} P_{b,16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3 \log_2(16)}{4(16-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \\ &= 10^{-5} \end{aligned}$$

3. Modulasi 64-QAM

$$\begin{aligned} P_{b,64-QAM} &= \frac{2(\sqrt{64}-1)}{\sqrt{64} \log_2 M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3 \log_2(64)}{4(64-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \\ &= 0,0009 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak *base station* dan *user equipment* 100 m sampai 5100 m dengan spasi jarak 500 m, akan diperoleh nilai BER untuk teknik modulasi, ketinggian gedung di sekitar BS dan jarak antar titik tengah gedung disekitar BS yang berbeda untuk kondisi $hb>h$ dan $hb<h$. Hasil perhitungan ditunjukkan oleh Tabel (4.73-4.76).

Tabel 4.73. Nilai BER untuk kondisi $hb>h$ teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

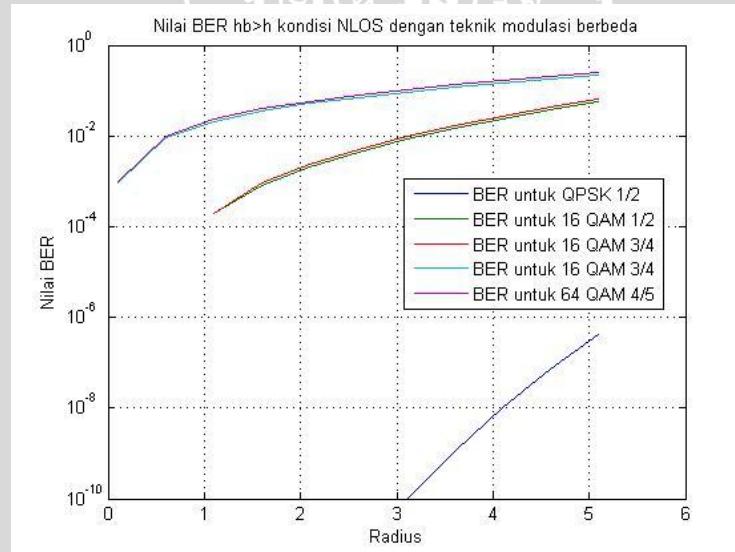
Radius (km)	Nilai BER $hb>h$							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	$h= 40 \text{ m } \& b= 30 \text{ m}$	$h= 40 \text{ m } \& b= 500 \text{ m}$	$h= 30 \text{ m } \& b= 30 \text{ m}$	$h= 30 \text{ m } \& b= 500 \text{ m}$	$h= 40 \text{ m } \& b= 30 \text{ m}$	$h= 40 \text{ m } \& b= 500 \text{ m}$	$h= 30 \text{ m } \& b= 30 \text{ m}$	$h= 30 \text{ m } \& b= 500 \text{ m}$
0.1	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0.6	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1.1	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
1.6	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0008	0,0001	0,0002	0,0000
2.1	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0021	0,0001	0,0005	0,0000
2.6	$0,0000*10^{-6}$	$0,0000*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,0000*10^{-13}$	0,0045	0,0003	0,001	0,0001
3.1	$0,0001*10^{-6}$	$0,0001*10^{-11}$	$0,0000*10^{-8}$	$0,000110^{-13}$	0,0085	0,0006	0,0019	0,0002
3.6	$0,0011*10^{-6}$	$0,0015*10^{-11}$	$0,0005*10^{-8}$	$0,000610^{-13}$	0,0148	0,001	0,0033	0,0003
4.1	$0,0104*10^{-6}$	$0,0136*10^{-11}$	$0,0042*10^{-8}$	$0,005710^{-13}$	0,0242	0,0016	0,0054	0,0005
4.6	$0,074*10^{-6}$	$0,0939*10^{-11}$	$0,0291*10^{-8}$	$0,039310^{-13}$	0,0377	0,0024	0,0082	0,0007
5.1	$0,4321*10^{-6}$	$0,5333*10^{-11}$	$0,1672*10^{-8}$	$0,221810^{-13}$	0,0565	0,0034	0,0121	0,0011

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.74. Nilai BER untuk kondisi $hb>h$ teknik modulasi 16 QAM 3/4, 64 QAM 3/4, dan 64 QAM 4/5

Radius (km)	Nilai BER $hb>h$											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	$h= 40$ m & $b= 30$ m	$h= 40$ m & $b= 500$ m	$h= 30$ m & $b= 30$ m	$h= 30$ m & $b= 500$ m	$h= 40$ m & $b= 30$ m	$h= 40$ m & $b= 500$ m	$h= 30$ m & $b= 30$ m	$h= 30$ m & $b= 500$ m	$h= 40$ m & $b= 30$ m	$h= 40$ m & $b= 500$ m	$h= 30$ m & $b= 30$ m	$h= 30$ m & $b= 500$ m
0.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0004	0,0006	0,0002	0,001	0,0004	0,0006	0,0003
0.6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0091	0,0038	0,0059	0,0025	0,0101	0,0042	0,0065	0,0027
1.1	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0208	0,0084	0,0133	0,0055	0,0231	0,0093	0,0148	0,006
1.6	0,0009	0,0001	0,0003	0,0000	0,0352	0,014	0,0223	0,009	0,0392	0,0155	0,0247	0,01
2.1	0,0023	0,0002	0,0007	0,0001	0,0521	0,0203	0,0326	0,013	0,0582	0,0225	0,0363	0,0144
2.6	0,0049	0,0004	0,0015	0,0001	0,0715	0,0273	0,0442	0,0173	0,0802	0,0303	0,0493	0,0193
3.1	0,0095	0,0008	0,0029	0,0003	0,0936	0,0349	0,0571	0,0221	0,1054	0,0389	0,0639	0,0246
3.6	0,0166	0,0014	0,0049	0,0004	0,1187	0,0433	0,0714	0,0272	0,1344	0,0483	0,0801	0,0303
4.1	0,0274	0,0023	0,008	0,0007	0,1472	0,0523	0,0871	0,0327	0,1676	0,0584	0,098	0,0364
4.6	0,043	0,0035	0,0122	0,0011	0,1797	0,0619	0,1043	0,0385	0,2062	0,0694	0,1177	0,0429
5.1	0,0651	0,0051	0,0181	0,0016	0,2172	0,0723	0,1231	0,0447	0,252	0,0811	0,1394	0,0499

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.30. Grafik BER $hb>h$ NLOS dengan teknik modulasi berbeda

Tabel 4.75. Nilai BER kondisi $hb < h$ untuk teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dan 16 QAM $\frac{1}{2}$

Radius (km)	Nilai BER $hb < h$							
	QPSK 1/2				16QAM 1/2			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0,0018	0,0002	0,0135	0,0012
1.1	0	0	0,3051	0	0,0199	0,0017	0,2135	0,0139
1.6	0	0	—	0	0,0982	0,0073	—	0,0711
2.1	0,0025	0	—	0,0008	0,4077	0,0218	—	0,2798
2.6	0,2764	0	—	0,0716	—	0,0531	—	—
3.1	—	0	—	—	—	0,1159	—	—
3.6	—	0,0005	—	—	—	0,2425	—	—
4.1	—	0,006	—	—	—	0,6044	—	—
4.6	—	0,0657	—	—	—	—	—	—
5.1	—	—	—	—	—	—	—	—

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Tabel 4.76. Nilai BER kondisi $hb < h$ dengan teknik modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{3}{4}$, dan 64 QAM 4/5

Radius (km)	Nilai BER $hb < h$											
	16 QAM 3/4				64 QAM 3/4				64 QAM 4/5			
	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m	h= 60 m & b= 30 m	h= 60 m & b= 500 m	h= 70 m & b= 30 m	h= 70 m & b= 500 m
0.1	0	0	0	0	0,0041	0,0017	0,0075	0,0031	0,0045	0,0019	0,0083	0,0034
0.6	0,0027	0,0002	0,0202	0,0017	0,0558	0,0216	0,1291	0,0466	0,0624	0,024	0,1464	0,052
1.1	0,0301	0,0025	0,3802	0,0209	0,1534	0,0542	—	0,1308	0,1749	0,0606	—	0,1485
1.6	0,1568	0,0109	—	0,1114	0,3363	0,0992	—	0,2813	0,417	0,1118	—	0,3351
2.1	—	0,0329	—	0,574	—	0,1595	—	—	—	0,1821	—	—
2.6	—	0,0822	—	—	—	0,2424	—	—	—	0,2837	—	—
3.1	—	0,1875	—	—	—	0,3723	—	—	—	0,4881	—	—
3.6	—	0,452	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Berdasarkan data hasil perhitungan dapat dilihat bahwa jarak antara *basestation* dan *user equipment* berpengaruh terhadap nilai BER yang dihasilkan, selain itu ketinggian gedung disekitar BS (h), jarak antara titik tengah gedung disekitar BS (b), dan teknik modulasi yang digunakan berpengaruh terhadap nilai BER yang dihasilkan.

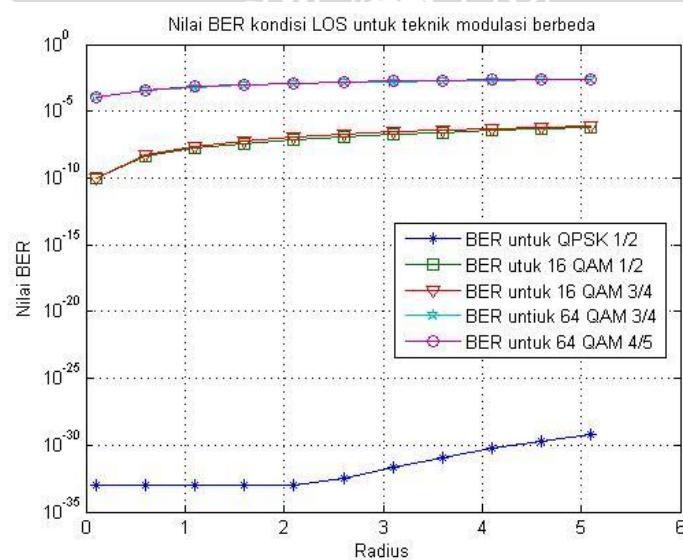
Nilai Bit Error Rate (BER) untuk kondisi $hb < h$ lebih tinggi, hal ini dikarenakan nilai Signal to Noise Ratio (SNR) yang dihasilkan pada kondisi $hb < h$ sangat rendah, sehingga nilai E_b/N_0 yang dihasilkan cukup rendah.

Dengan menggunakan cara yang sama akan diperoleh nilai BER untuk kondisi LOS. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel (4.76).

Tabel 4.77. Nilai BER untuk Kondisi LOS

Radius (km)	BER Kondisi LOS				
	QPSK 1/2	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 Qam 3/4	64 QAM 4/5
0.1	10^{-29}	$0,0001 \times 10^{-6}$	$0,0001 \times 10^{-6}$	0,0001	0,0001
0.6	10^{-29}	$0,0041 \times 10^{-6}$	$0,0059 \times 10^{-6}$	0,0004	0,0004
1.1	10^{-29}	$0,0169 \times 10^{-6}$	$0,024 \times 10^{-6}$	0,0006	0,0007
1.6	10^{-29}	$0,0405 \times 10^{-6}$	$0,0583 \times 10^{-6}$	0,0009	0,001
2.1	10^{-29}	$0,0764 \times 10^{-6}$	$0,1099 \times 10^{-6}$	0,0011	0,0012
2.6	$0,0003 \times 10^{-29}$	$0,1257 \times 10^{-6}$	$0,181 \times 10^{-6}$	0,0014	0,0015
3.1	$0,0023 \times 10^{-29}$	$0,1896 \times 10^{-6}$	$0,2731 \times 10^{-6}$	0,0016	0,0017
3.6	$0,0125 \times 10^{-29}$	$0,269 \times 10^{-6}$	$0,3875 \times 10^{-6}$	0,0018	0,002
4.1	$0,0551 \times 10^{-29}$	$0,3647 \times 10^{-6}$	$0,5256 \times 10^{-6}$	0,002	0,0022
4.6	$0,204 \times 10^{-29}$	$0,4776 \times 10^{-6}$	$0,6884 \times 10^{-6}$	0,0022	0,0025
5.1	$0,6599 \times 10^{-29}$	$0,6082 \times 10^{-6}$	$0,8769 \times 10^{-6}$	0,0025	0,0027

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)



Gambar 4.31. Grafik nilai BER LOS untuk teknik modulasi berbeda

4.11 Analisis Nilai Level Daya Terima Berdasarkan Standar Minimal SNR

Analisis nilai level daya terima berdasarkan standar minimal SNR diperoleh dari hasil perhitungan nilai SNR yang dibandingkan dengan nilai SNR minimum yang disarankan kemudian dihitung radius maksimum yang bisa dijangkau dengan menggunakan metode regresi grafik, setelah itu diperoleh nilai level daya terima minimum yang disarankan untuk berbagai teknik modulasi.

Berdasarkan analisis perhitungan didapat bahwa nilai level daya terima minimal yang disarankan untuk masing-masing teknik modulasi dapat dilihat pada tabel (4.78).

Tabel 4.78. Nilai level daya terima minimal yang disarankan

Modulasi	Code Rate	Level Daya Terima Minimum (dBm)
QPSK	1/2	> -128,8341
16 QAM	1/2	> -123,004
16 QAM	3/4	> -116,971
64 QAM	3/4	> -111,6186
64 QAM	4/5	> -109,295

(Sumber: Hasil perhitungan, 2014)

Nilai *code rate* menunjukkan ukuran proporsi data yang digunakan atau jumlah sinyal informasi yang digunakan pada tiap simbolnya, apabila menggunakan *code rate* $\frac{1}{2}$ berarti hal ini menunjukkan bahwa $\frac{1}{2}$ dari jumlah total bit yang ditransmisikan digunakan untuk membawa informasi dan $\frac{1}{2}$ bit sisanya digunakan untuk *header* (biasanya berisi pengalaman dan bit paritas), sedangkan apabila menggunakan *code rate* $\frac{3}{4}$ hal ini menunjukkan bahwa $\frac{3}{4}$ dari jumlah total bit yang ditransmisikan digunakan untuk membawa sinyal informasi sedangkan sisanya digunakan untuk *header*, begitu juga dengan *code rate* 4/5.