

ANALISIS PERANCANGAN JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) FREKUENSI 1800MHZ DAN WIFI 802.11N FREKUENSI 2400MHZ FEMTOCELL PADA ASRAMA PUTRA GEDUNG A DAN B UNIVERSITAS TELKOM

DESIGN AND ANALYSIS OF LTE 1800MHZ AND WIFI 802.11N 2400MHZ FEMTOCELL NETWORK ON TELKOM UNIVERSITY MEN'S DORMITORY A AND B BUILDING

Gian Dhaifannahri¹, Achmad Ali Muayyad², Hafidudin³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹dhaifannahri@students, ²alimuayyad@, ³hafidudin@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Asrama adalah tempat sibuk yang membutuhkan perancangan jaringan seluler *indoor*, penelitian ini dilakukan pada gedung asrama putra Universitas Telkom yang terdiri dari 4 lantai tiap gedung. Hal ini didasari banyaknya mahasiswa Universitas Telkom yang tinggal di gedung tersebut dan membutuhkan akses *data* untuk berbagai keperluan, konstruksi bangunan atau dinding-dinding yang tebal menyebabkan penerimaan sinyal pada area *indoor* gedung asrama menjadi buruk. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan perancangan jaringan LTE 1800MHz dan juga WiFi 2400 MHz.

Perancangan jaringan LTE dan WiFi dilakukan untuk mendapatkan jumlah FAP (*Femtocell Access Point*) LTE dan AP (*Access Point*) WiFi menggunakan perhitungan *coverage* dan *capacity*. Pada perhitungan *coverage* digunakan model propagasi Cost 231 *Multiwall* dan untuk *software* simulasi menggunakan RPS (*Radiowave Propagation Simulator*) 5.4. Penelitian ini disusun dengan beberapa skenario yaitu memodelkan hasil perancangan WiFi 802.11n, memodelkan hasil perancangan LTE dan memodelkan hasil perancangan jaringan WiFi 802.11n diintegrasikan dengan jaringan LTE. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah *receive signal level* (RSL) dan *signal to interference ratio* (SIR).

Hasil Penelitian dengan kinerja paling optimal adalah dengan menggunakan hasil perancangan 1 FAP LTE tiap lantai dengan 1 AP WiFi untuk tiap lantai dengan hasil SIR 10,35 dB dengan RSL -48,57 dBm.

Kata Kunci : LTE, WiFi 802.11n, FAP, RSL, SIR

ABSTRACT

Dormitory building is one of the most crowded and busy place and needed indoor cellular network design, the study was conducted in A and B Telkom University men's dormitory buildings which consists of 4 floors of each building. This is based on the high number of students at the University Telkom inside the building that require Internet access for a variety of lectures purposes, in addition to the construction of the buildings or the walls are thick to causes signal reception in indoor dormitory area worse. Therefore, to overcome these problems the buildings required the design of LTE 1800MHz network and also WiFi 2400MHz for users who do not have a user equipment that does not support LTE.

LTE and WiFi network design is done to obtain the number of FAP (Femtocell Access Point) LTE and AP (Access Point) WiFi using coverage and capacity calculations. In indoor coverage calculation is used Cost 231 Multiwall propagation model and for simulation program using RPS (Radiowave Propagation Simulator) 5.4. This research was conducted with several scenarios that modeling WiFi 802.11n design, modeling LTE design and modeling WiFi 802.11n network design integrated with LTE design. The analyzed parameters in this study is the receive signal level (RSL) and signal to interference ratio (SIR).

The scenario results which have the most optimal SIR and SRL values is 1 FAP LTE 1800MHz on each floor with 2 WiFi 2.4GHz 802.11n AP on each floor with the result of SIR 10,35 dB and RSL -48,57 dBm.

Keywords : LTE, WiFi 802.11n, FAP, RSL, SIR

1. Pendahuluan

Pada saat ini akses *user mobile data* meningkat dengan sangat pesat. *Nokia Solutions and Networks* melaporkan 80% *mobile* trafik data berasal dari area *indoor*[9] dan jumlah mahasiswa baru penghuni asrama putra Universitas Telkom sebanyak 527 orang tiap gedung. Untuk memenuhi permintaan *user* terhadap kualitas sinyal dan kapasitas jaringan yang baik di area *indoor* gedung asrama maka dibutuhkan perancangan jaringan LTE yang memiliki standar komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi..

Untuk mengatasi masalah kapasitas jaringan dan daya terima yang lemah di area gedung maka jaringan LTE butuh dukungan oleh WiFi 802.11n dengan frekuensi 2400MHz sebagai *data offload* yang berguna untuk pembagian beban dari jaringan LTE ke WiFi 802.11n sehingga mengurangi kongesti jaringan operator LTE di jam

sibuk, meningkatkan kualitas level daya terima sinyal serta meningkatkan kapasitas jaringan pada gedung asrama yang membutuhkan *demand* yang banyak.

Penelitian ini menganalisa perancangan jaringan LTE yang terintegrasi dengan jaringan WiFi 802.11.n. Perancangan diterapkan pada gedung A dan B Asrama Putra Universitas Telkom yang terdiri dari 4 lantai dan berkapasitas 376 orang per gedung.

2. Dasar Teori

2.1 LTE[7]

Long Term Evolution (LTE) adalah sebuah nama yang diberikan pada proyek *Third Generation Partnership Project (3GPP)* sebagai standar komunikasi akses data *wireless* kecepatan tinggi untuk memperbaiki standar teknologi seluler generasi ketiga (3G) yaitu UMTS. LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu teknologi UMTS (3G) dan HSDPA (3.5G) yang mana LTE disebut juga sebagai teknologi seluler generasi keempat (4G). Pada teknologi 4G LTE ini kemampuan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink* dengan *bandwidth* channel sampai 20MHz. Selain itu LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang tersedia saat ini seperti *voice*, *data*, video, bahkan IPTV.

2.2 WiFi 802.11n[10]

Sebelum 802.11n standar Wi-Fi adalah 802.11a, 802.11b, dan 802.11g, *raw bit rate* yang dihasilkan semakin meningkat. Pada Januari tahun 2004, IEEE mengumumkan telah mengembangkan standar teknologi baru yaitu *High Speed* 802.11n.

2.3. Perancangan Jaringan LTE dan WiFi

2.3.1 Perhitungan *Link Budget* LTE

Perhitungan *Link Budget* dilakukan pada perhitungan *coverage* LTE dan digunakan untuk mengestimasi nilai *maximum path loss* antara UE dan antenna *Base Station*. *Maximum path loss* memperhitungkan estimasi *maximum cell range* yang sesuai dengan model propagasi yang digunakan. *Cell range* akan memberikan jumlah site yang dibutuhkan untuk mengcover area target. Untuk menghitung *link budget* diperlukan nilai-nilai yang terdapat spesifikasi alat untuk mendapat nilai MAPL seperti pada tabel berikut:

Tabel 1 Tabel ~~Perhitungan~~ ~~Link Budget~~ LTE untuk ~~Perhitungan~~ ~~Link Budget~~ [6]

Transmitter	Value	Calculation
Max.TX power (dBm)	30	a
TX antenna gain (dBi)	5	b
Body loss (dB)	6	c
EIRP (dBm)	29	d=a+b-c

Tabel 2 ~~Perhitungan~~ ~~Link Budget~~ LTE ~~Perhitungan~~ ~~Link Budget~~ [6]

Receiver	Value	Calculation
Noise figure (dB)	2	e
Thermal noise (dBm)	-107.44	f=k*T*B
Receiver noise floor (dBm)	-105.44	g=e+f
SINR (dB)	-9	h
Receiver sensitivity (dBm)	-114.44	i=g+h
Load factor	0.7	j (70%)
Interference Margin (dB)	15.2288	k=-10 log(1-l/10)
RX antenna gain (dB)	0.2	l
cable loss (dB)	0	m
MHA gain (dB)	3	n
Maximum path loss	125.011	o=d-i-k-l+m-n
Log normal fading margin	7.3	p
Allowed propagation loss for cell range	117.711	q=o-p

2.3.2 Link Budget WiFi 802.11n

Link Budget pada perancangan WiFi 802.11n juga dibutuhkan untuk mendatkan nilai radius dari suatu site dan juga mendapatkan jumlah *access point* untuk perancangan WiFi 802.11n. Berikut tabel *link budget* yang digunakan pada perancangan WiFi 802.11n:

Tabel 3 Link Budget WiFi 802.11n[3]

Downlink			Uplink	
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value
Tx Power AP (Pt)	20	dBm	Tx Power Client (Pt)	23
Antenna Gain AP (Gt)	8	dBi	Antenna Gain Client (Gt)	3
Cable Losses AP (Lt)	2	dB	Cable Losses Client (Lt)	2
Antenna Gain Client (Gr)	3	dBi	Antenna Gain AP (Gr)	8
Cable Losses Client (Lr)	2	dB	Cable Losses AP (Lr)	2
Expected Received Signal Level (Pr)	-95	dBm	Expected Received Signal Level (Pr)	-95
Sensitivity of Client	-97	dBm	Sensitivity of Client	-97
MAPL	122		MAPL	125

2.3.3 Model Propagasi Cost 231 Multiwall [10]

Perencanaan LTE dan WiFi digunakan model propagasi Cost 231 *Multiwall* yang bekerja pada daerah *indoor area*. Cost 231 *Multiwall* mendefinisikan path loss yang dihasilkan dari faktor material yang ada di dalam ruangan yang diinginkan. Berikut formula dari Cost 231 *Multiwall*:

$$Lr \equiv LF + Le + \sum_{i=1}^n L_{wi} n_{wi} + L_{fn} \frac{(nf+2)}{(nf+1)-b} \tag{1}$$

Keterangan :

LF = *Free Space Loss*

Lc = konstanta *loss*

Lwi = Penetrasi Loss dari tipe *wall*

Lf = *Loss* per lantai

b = konstanta empiris

nwi = Jumlah dinding yang dilewati

nf = Jumlah lantai yang dilewati

2.3.4 Perhitungan Luas Sel

Untuk mendapatkan radius sel yang menggunakan *omnidirectional* digitung dengan persamaan berikut:

$$LC = \dots \times \dots \tag{2}$$

2.3.5 Perhitungan Jumlah Site

Untuk dmendapatkat jumlah *site*, bisa dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\sum_{LTE} C = \text{Luas Area/Luas Cell} \tag{3}$$

2.4 Capacity Planning[9]

2.4.1 Forcasting Number Of User

Jumlah *user* pada gedung asrama akan diasumsikan berdasarkan kapasitas tiap kamar dan tiap lantai pada gedung asrama dan estimasi *user* aktif dan penetrasi dari operator nilainya diasumsikan dari hasil *survey market share* operator x dan jumlah *user* LTE.

2.4.2 Trafik Model Layanan

Penentuan parameter dalam trafik dan model layanan yang digunakan berfungsi untuk memaksimalkan *throughput* yang ingin dicapai dengan menggunakan nilai *service model parameter indoor* yang ditentukan oleh vendor lalu diperhitungkan dengan menggunakan formula berikut:

$$\text{Throughput/Session} = \text{PPP Session Time} \times \text{PPP Session Duty Ratio} \times \text{Bearer Rate} [1/(1-\text{BLER})] \tag{4}$$

Lalu menghitung nilai *single user throughput* dengan memperhitungkan nilai *peak to average ratio* sebesar 35% yang digunakan untuk mengasumsi presentase tertinggi kelebihan beban pada jaringan untuk mengantisipasi kebutuhan pada gedung asrama. Berikut adalah formula untuk menghitung nilai *single user throughput*

$$\text{Single User Throughput} = \frac{(\sum (\text{Throughput/Session}) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration Ratio} \times (1 + \text{Peak to Average Ratio}))}{3600} \tag{5}$$

2.4.4 Perhitungan Jumlah Site

Setelah mendapatkan nilai *single user throughput* lalu bisa didapatkan jumlah site pada perancangan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Number Of Site DL/UL} = \text{DL/UL Network Throughput} / \text{DL/UL Site Capacity} \tag{6}$$

$$\text{Cell Coverage} = \text{Area Wide} / \text{Number Of Cell} \tag{7}$$

3. Pembahasan

3.1 Coverage Result LTE

Setelah mendapatkan hasil MAPL dari sub-bab 2.3.1 maka dapat dicari total FAP LTE dari segi *coverage* dengan menggunakan rumus model propagasi dengan hitungan sebagai berikut:

$$117.711 = 97,6054501 + 20^{10} \text{Log} (d_{\text{Km}}) + 37 + 16,1$$

$$= 117,711 - 150,7054501 + 20^{10} \text{Log} d_{\text{Km}}$$

$$20^{10} \text{Log} d_{\text{Km}} = -33,5954501$$

$$^{10} \text{Log} d_{\text{Km}} = -1,649722505$$

$$d = 10^{-1,649722505}$$

$$d = 0,0224 \text{ Km} = 22,4 \text{ m}$$

Cell Width:

$$= 2,6 d^2$$

$$= 2,6 (22,4)^2$$

$$= 1304,576 \text{ m}^2$$

Jumlah Femtocell Access Point

$$= \text{Area Total} / \text{cell width} = 1000,35 \text{ m}^2 / 1304,576 \text{ m}^2$$

$$= 0,7668 = 1 \text{ FAP}$$

3.2 Capacity Result LTE

Maka setelah dilakukan perhitungan dari sisi capacity dengan menggunakan persamaan (5), (6),(7) maka didapat hasil FAP sebagai berikut:

Tabel 4 Jumlah FAP

Lantai	\sum User	Network Throughput (MAC)		Single Site Throughput (MAC)		Jumlah FAP		Estimasi Jumlah FAP
		Uplink (Kbps)	Downlink (Kbps)	Uplink (Kbps)	Downlink (Kbps)	Uplink	Downlink	
Lantai 1	36	1349.592301	10227.14471	40435.176	33695.976	0.033376689	0.303512346	1
Lantai 2	40	1499.547001	11363.49412	40435.176	33695.976	0.03708521	0.33723594	1
Lantai 3	40	1499.547001	11363.49412	40435.176	33695.976	0.03708521	0.33723594	1
Lantai 4	40	1499.547001	11363.49412	40435.176	33695.976	0.03708521	0.33723594	1

3.3 Perhitungan AP WiFi 802.11n

3.3.1 Skenario Offload

Diasumsikan 50% pengguna LTE *indoor offload* ke jaringan WiFi 802.11n seperti dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 5 Penetrasi Wifi

Lantai 2:3:4

	jumlah
Kamar	24
Penghuni per kamar	4
Jumlah	96
Penetrasi operator x (47%)	46
Penetrasi LTE (85%)	40
Penetrasi WiFi 50% dari LTE	20

3.3.2 Hasil Perhitungan Capacity WiFi

Untuk mendapatkan hasil dari perhitungan *capacity* WiFi perlu dihitung total OBQ dengan rumus berikut:

$$\text{OBQ} = \text{Ct} \times \text{C} (\text{U} ; \text{t}) \times \text{P} \times \text{Rb} (\text{service}) \times \text{B} \times \text{h} \tag{8}$$

Dimana :

- Ct = Tipe presentase user (pada kasus ini adalah 100% user di gedung)
- C (U ; t) = Jumlah pengguna WiFi
- P = Penetrasi service user
- Rb (service) = Bearer rate of service
- B = Busy Hour Service Attempts (BHSA)
- H = Duration of using service

Lalu nilai parameter service model yang digunakan seperti pada tabel (6) dihitung dengan menggunakan persamaan (8). Berikut *service model* untuk WiFi 802.11n:

Tabel 6 Service Model WiFi[3]

Service	Downlink		Uplink		BHSA	Penetration
	Bearer Rate (kbps)	Duration time (s)	Bearer Rate (kbps)	Duration Time (s)		
Voip	125	200	125	200	2.1	100%
Video Phone	1000	70	80.53	70	0.5	60%
Video Conference	500.53	1800	62.53	1800	0.4	60%
Real Time Gaming	550.06	1800	130.26	1800	1.4	30%
Streaming Media	2000	1800	31.26	1800	3.2	50%
IMS Signalling	15.63	50	15.63	50	5	40%
Web Browsing/Mobile Application	1000	2700	100.53	2700	3.8	100%
File Transfer	1000	600	100.53	600	0.5	50%
Email	750.34	15	140.69	50	0.6	70%
P2P File Sharing	2000	1200	250.11	1200	0.8	30%

Setelah melakukan perhitungan OBQ, maka didapat nilai OBQ total seperti pada tabel berikut:

Tabel 7 Hasil Perhitungan OBQ

Service	Downlink OBQ	Uplink OBQ
Voip	1050000	1050000
Video Phone	420000	33822.6
Video Conference	7806.76	540259.2
Real Time Gaming	5940648	1969531.2
Streamin Media	115200000	1800576
IMS Signalling	31260	31260
Web Browsing	205200000	20628756
File Transfer	10600.5	301590
Email	7519	59089.8
P2P Sharing	29200.8	1440633.6
Total Kbit/Hour	327897035.1	27855518.4
Total Kbit	91082.50974	7737.644

OBQ Type	Total Kbit
OBQ Downlink	91082.50974
OBQ Uplink	7737.644
OBQ Total	98820.15374
OBQ total (Mbps)	98.82015374

Setelah mendapatkan OBQ total maka bisa diperoleh jumlah AP WiFi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Number of AP} = \frac{98.820}{144.4} = 0,684350095 = 1 \text{ AP}$$

3.3.3 Hasil perhitungan Coverage WiFi

Sama halnya dengan propagasi LTE, pada WiFi juga menggunakan Cost 231 *multiwall* untuk mendapatkan jumlah AP dari segi *coverage*, berikut dipaparkan hasil perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \text{LFSL} &= 20 \log f_{\text{MHz}} + 20^{10} \log d_{\text{km}} + 32,5 \\
 \text{LFSL} &= 20^{10} \log (2400) + 20^{10} \log d_{\text{km}} + 32,5 \\
 &= 100,1 + 20^{10} \log d_{\text{km}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 22 &= 100,1 + 20^{10} \log d_{\text{km}} + 37 + 16,1 & \text{Cell Width:} \\
 &= 122 - 153,2 + 20^{10} \log d_{\text{km}} &= 2,6 d^2 \\
 20^{10} \log d_{\text{km}} &= -31,2 &= 2,6 (27,5)^2 \\
 10 \log d_{\text{km}} &= -1,56 &= 1966,25 \\
 d &= 10^{-1,56} & \text{Jumlah Femtocell Point} \\
 d &= 0,0275 \text{ Km} = 27,5 \text{ m} &= \text{Area Total} / \text{cell width} \\
 & &= 1000,35 \text{ m}^2 / 1966,25 \text{ m}^2 \\
 & &= 0,508 = 1 \text{ AP}
 \end{aligned}$$

3.4 Hasil Perhitungan Jumlah Site

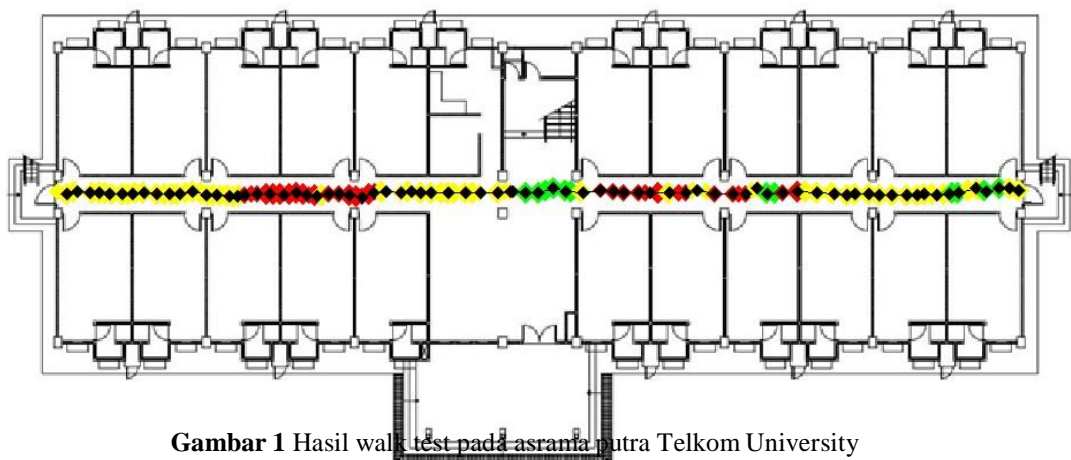
Setelah dilakukan perhitungan perancangan LTE dan WiFi dari segi kapasitas dan cakupan, maka diambil jumlah *site* terbanyak untuk diplot pada simulasi pada *software* RPS. Pada tabel (8) berikut adalah jumlah *site* yang didapat pada perancangan WiFi dan LTE.

Tabel 8 Jumlah Site LTE dan WiFi

Lantai	Coverage Planning	Capacity Planning		Final Number of site
		Uplink	Downlink	
Lantai 1	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi
Lantai 2	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi
Lantai 3	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi
Lantai 4	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi	1 LTE, 1 WiFi

3.5 Walk Test Result

Untuk mengetahui bagaimana kondisi *receive signal level* pada gedung asrama sebelum dilakukan perancangan maka perlu dilakukan *walk test* yaitu prosedur untuk mendapatkan nilai *receive signal level*. Berikut dilampirkan gambar hasil *walktest* yang dilakukan:



Gambar 1 Hasil *walk test* pada asrama putra Telkom University

Seperti yang terlihat pada gambar (1) tiap node hitam adalah tiap *step* pada *user equipment* mendapat *receive signal*, dan hasil yang didapat adalah kurang baik sebagaimana dapat kita lihat hasil yang berupa warna yang sering muncul pada hasil *walk test* adalah kuning dan merah.

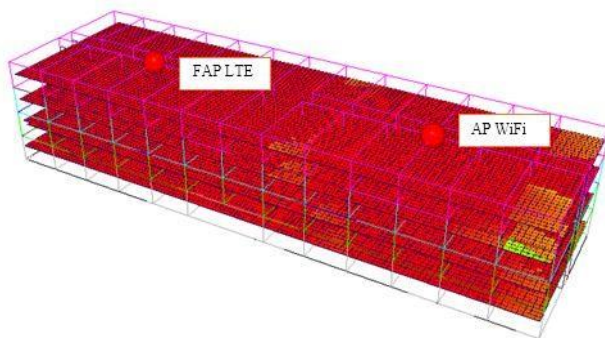
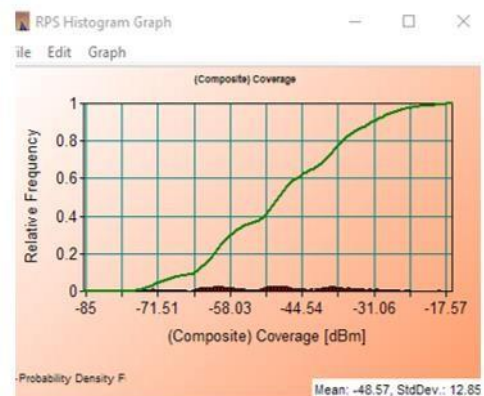
Tabel 9 Grade receive signal level pada TEMS Investigation

Range	Grade
-130 to -106	Poor
-105 to -96	Fair
-95 to -80	Good
-80 to -30	Excellent

Berdasarkan hasil log file yang di export dari software TEMS Investigation memiliki nilai *receive signal level* rata-rata -102,69 dBm. Hasil tersebut jika dilihat dari *grade* pengelompokan kualitas sinyanya dari TEMS Investigation pada tabel (9) diatas, hasil yang didapat adalah sangat buruk.

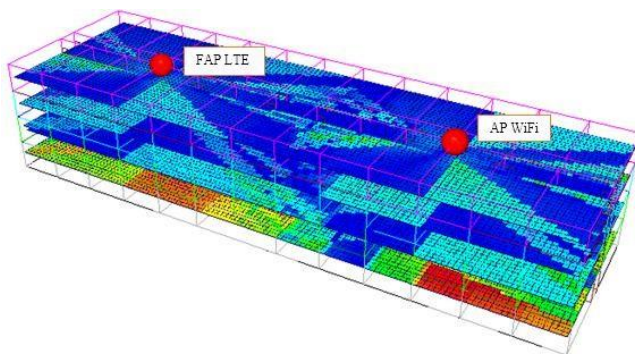
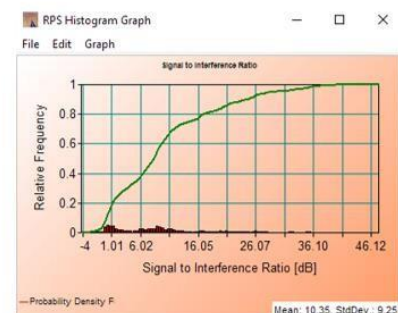
4. Analisis Simulasi Perancangan

Pada Penelitian ini dilakukan 3 skenario simulasi yaitu skenario 1 dengan simulasi 1 AP WiFi pada tiap lantai. Skenario 2 simulasi 1 FAP LTE tiap lantai, skenario 3 integrasi 1 FAP LTE per lantai dengan 1 AP LTE per lantai. Hasil skenario 3 yaitu hasil simulasi integrasi LTE dan WiFi bisa dilihat pada gambar berikut:

**Gambar 2** RSL LTE integrasi WiFi**Gambar 3** Grafik PDF CDF SIR LTE integrasi WiFi

Dari gambar (2) diatas dapat diperhatikan bahwa daerah yang di cover oleh *transmitter* sudah meliputi semua bagian gedung dengan sangat baik, hal itu dikarenakan oleh *transmitter* LTE yang diintegrasikan dengan *transmitter* WiFi dapat memberi jarak jangkauan sinyal terima lebih baik daripada perancangan tersendiri dan karena penggunaan band frekuensi yang berbeda pada tiap jaringan hal ini tidak menimbulkan co-channel yang akan mengakibatkan interferensi yang buruk.

Dari gambar (3) dapat dilihat grafik *cumulative* dan *probability distribution function* memaparkan nilai *mean distribution level* untuk kualitas sinyal terima dengan nilai -48,57 dBm dan nilai yang dihasilkan dianggap sudah memenuhi kriteria KPI vendor yaitu > -90 dBm.

**Gambar 4** SIR LTE integrasi WiFi**Gambar 5** Grafik PDF CDF SIR LTE integrasi WiFi

Dari hasil simulasi SIR pada gambar (4) dan gambar (5) dapat dilihat bahwa parameter SIR pada simulasi jaringan LTE memberikan hasil yang sangat baik yaitu dengan nilai rata-rata 10,35 dB jika dibandingkan dengan KPI vendor yaitu > 5 dB hal ini dikarenakan penggunaan *transmitter* LTE dan WiFi menggunakan band frekuensi yang berbeda oleh karena itu tidak menimbulkan co-channel dari kedua buah *transmitter* tersebut walaupun berada pada lantai yang sama.

4.1 Kesimpulan Hasil Simulasi

Setelah dilakukannya simulasi dari ketiga skenario perancangan, dapat dilihat perbandingan performansi dari parameter RSL dan SIR pada ketiga skenario tersebut seperti pada tabel (10) berikut:

Tabel 10 Hasil Simulasi RPS

No.	Skenario Perancangan	Mean Hasil Distribusi RSL (dBm)	Mean Hasil Distribusi SIR (dB)	KPI RSL	KPI SIR
1	WiFi 1 AP / Floor	-68.72	13.67	> -70 dBm	>5 dB
2	LTE 1 FAP / Floor	-63.75	9.13	> -90 dBm	
3	LTE 1 FAP / Floor WiFi 1 AP / Floor	-53.64	10.46	> -70 dBm	

Seperti yang terlihat pada tabel 10, pada perancangan ke-1, 2 dan 3 simulasi yang dijalankan dengan pengambilan jumlah FAP LTE dan AP WiFi yang diambil dari hasil perhitungan *capacity* dan *coverage* tiap jaringan, semua hasil skenario simulasi semuanya sudah baik jika karena sudah memenuhi kriteria *Key performance Indicator* vendor untuk tiap jaringan.

5. Kesimpulan

Dari seluruh hasil perancangan dan simulasi jaringan LTE dan WiFi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan LTE *by capacity* dan *coverage* diperlukan 1 FAP per lantai. Dari perhitungan *capacity* dan *coverage* WiFi juga hanya memerlukan 1 AP per lantai.
2. Simulasi *Receive Signal Level (RSL)* pada semua skenario mendapatkan hasil yang baik yaitu -68,72 dBm pada skenario 1 (WiFi *only*), -63,75 dBm pada skenario 2 (LTE *only*), dan -53,64 dBm pada skenario 3 (integrasi WiFi dan LTE) karena sudah memenuhi *range* KPI vendor yaitu > -90 dBm dan > -70 dBm untuk WiFi.
3. Simulasi *Signal-to Interference Ratio (SIR)* pada semua skenario mendapatkan hasil yang baik yaitu 13,67 dB pada skenario 1 (WiFi *only*), 9,13 dB pada skenario 2 (LTE *only*), dan 10,46 dB pada skenario 3 (integrasi WiFi dan LTE) karena sudah memenuhi nilai KPI vendor yaitu > 5 dB.
4. Hasil RSL (*Receive Signal Level*) paling baik pada perancangan WiFi integrasi LTE dengan nilai -53,64 dBm dan hasil SIR (*Signal-to Interference Ratio*) paling baik adalah pada perancangan WiFi *only* dengan nilai 13,67 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Aerohive**, 2011 . "Design and Configuration Wi-Fi in High Density"
- [2] **CNRI**, "Mobile data offload", http://www.cnri.dlt.le/research.data_offload.html. diakses pada tanggal 20 November 2015
- [3] **Geier, Jim**, 2010 "*Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks*: Cisco Press
- [4] **Gouw Andryan**, Indonesian Market Research December 2014. UC.
- [5] **Huawei Technologies Co.Ltd.**.2010. *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*.Shenzen : Huawei
- [6] **Huawei Technologies Co.Ltd.**.2010. *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*. Shenzen : Huawei
- [7] **I.T.M.B. Stefania Sesia**.2011. *LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to ractice*, Chicester: WILEY
- [8] **MCS Index**, <http://mcsindex.com> . diakses pada tanggal 22 Februari 2016
- [9] **Mobile Communication Assistant Team Telkom University Electric Faculty**. 2014. *LTE-Advanced and Wifi Femtocell Planning For Data Offload With Coverage Simulation Using RPS*. Mobile Communication Laboratory Telkom University.
- [10] **Nokia Solutions and Networks**, 2014. *Indoor Deployment Strategies White Paper* : Nokia
- [11] **Poole, Ian**, 2012. "IEEE 802.11n Standards", <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>. diakses tanggal 16 Februari 2016
- [12] **Ubee**. 2010, "Understanding Technology Options For Deploying WiFi.
- [13] **Uke, Galuh dkk**. 2013. *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Rekayasa Sains, Indonesia.
- [14] **Y.F Sholahudin and Mardhani R**, 2011. "Indoor Empirical Pathloss Prediction Model for 2.4 GHz 802.11n Network"