

Perencanaan dan Simulasi Jaringan Small Cell Indoor Hotspots Studi Kasus di Gedung Vokasi Universitas Telkom

(Planning and Network Simulation of Small Cell Indoor Hotspot
Case Studi in Vocational Building Telkom University)

TOHA ARDI NUGRAHA

ABSTRACT

Poor signal in indoor cellular network is caused by attenuation of the building partition. In indoor areas, signal from base station transmitter cannot received perfectly in the receiver part. Therefore, this study discusses about planning of Indoor Hotspot (InH) using Small Cells technology case studi in Vocational Building Telkom University. From the network simulation, the transmit power of the entire antennas can cover each floor as well with received signal level greater than -80 dBm with SIR level has positive value above 0dB. The lowest floor, the average received signal power values is the best value compare with the others with received power about -40 dBm using 6 InHs. SIR best quality on the first floor of the building with the average received signal quality value of about -50 dBm using 7 InHs.

Keywords: Small Cells, Indoor Hotspot, *Indoor Propagation*

PENDAHULUAN

Dalam era komunikasi digital, kebutuhan akan kecepatan jaringan data yang dapat diakses dimana saja menjadi hal yang sangat penting, khususnya bagi pelanggan jaringan seluler. Namun kenyataannya, saat ini masih banyak ditemukan sinyal jaringan seluler yang lemah di dalam ruangan atau *indoor*. Seperti yang dijelaskan dalam buku Zhang dan Guillaume (2010), sinyal jaringan pada indoor disebabkan sinyal dari pemancar antenna dari base station teredam oleh bahan penyusun bangunan, misalnya dinding yang terbuat dari beton, pintu dari kayu, dan jendela dari kaca. Sinyal yang lemah tersebut berdampak juga pada penurunan kecepatan jaringan data.

Penyedia jaringan seluler atau yang disebut dengan operator seluler sudah berusaha mengupayakan beberapa solusi yaitu dengan memasang *base station indoor*, repeater, dengan sistem *Distribution Antenna System* (DAS) seperti yang dirancang oleh Nugraha (2009). Metode tersebut merupakan solusi yang saat ini dipakai untuk sinyal *indoor*. Akan tetapi, solusi tersebut masih belum menyeluruh diterapkan karena beberapa hal, diantaranya adalah membutuhkan perijinan pemakaian bangunan dalam pemasangan alat-

alat pemancar dan nantinya biaya operasional juga membutuhkan dana yang cukup besar.

Dalam perkembangan teknologi seluler menuju ke arah teknologi 5G yang mendukung kecepatan dengan transfer data tinggi, maka jaringan komunikasi yang baik perlu diterapkan dalam segala kondisi baik *outdoor* maupun *indoor*. Oleh karena itu, badan standardisasi khusus untuk teknologi seluler yaitu 3GPP membuat solusi baru dalam menangani pelanggan pada area *indoor* yang disebut dengan teknologi eNode B atau Small Cells menurut 3GPP (2010). Small Cells merupakan bagian dari sistem telekomunikasi seluler sehingga dapat beroperasi pada jaringan 4G-LTE dengan memakai frekuensi pembawa yang sama seperti pada Macro Cells.

Teknologi Small Cells (femto-, micro-, dan pico-cell) atau yang disebut dengan *access point base station* sehingga dapat langsung ditempatkan pada ruangan tanpa perlu menggunakan banyak komponen perangkat dan kabel seperti pada jaringan *outdoor*. Penelitian perancangan femtocell menggunakan pendekatan rumus empiris dengan model propagasi Cost 231 Multi Wall Model pada jaringan 4G LTE FDD 1800 and 900 Mhz dilakukan oleh Hikmaturokhman et al. (2016). Penelitian tersebut menggunakan studi kasus pada Gedung Kantor Telkom di Purwokerto.

Penelitian ini membahas perancangan dan simulasi propagasi jaringan *indoor* dengan studi kasus di Gedung Vokasi, Universitas Telkom, Bandung. Gedung ini adalah merupakan salah satu gedung yang ada di kawasan pendidikan Universitas Telkom Bandung. Gedung Vokasi ini mempunyai banyak ruangan dan bertingkat sehingga mengakibatkan lemahnya sinyal jaringan seluler di area tersebut. Selain itu, gedung tersebut sudah menampung banyak mahasiswa dan merupakan tempat pembelajaran yang berbasis teknologi. Oleh karena itu, sangat diperlukan jaringan komunikasi data yang baik guna menunjang civitas akademik khususnya dalam proses belajar mengajar di gedung kampus tersebut.

JARINGAN SELULER INDOOR

Pada sistem komunikasi seluler indoor, karakteristik utama yang membedakan dengan *outdoor* adalah *multipath*. *Multipath* adalah terpantulnya sinyal karena adanya benda yang menghalangi antara pengirim dan penerima atau bisa disebut sinyal dari *transmitter* ke *receiver* terhalang oleh dinding atau lantai. *Multipath* yang terjadi di *indoor* cenderung lebih banyak dibandingkan dengan jaringan *outdoor*, bahkan path yang *Line of Sight* (LOS) bisa jadi tidak ada. LOS adalah kondisi yang tidak ada redaman antara pengirim dan penerima, hanya jarak yang memengaruhi kualitas sinyal.

1. Propagasi Free Space Loss (FSL)

Propagasi adalah proses penyebaran sinyal frekuensi radio dari pengirim ke penerima dalam sistem komunikasi. Propagasi ruang bebas terjadi jika terdapat jalur LOS, yaitu tidak ada penghalang yang menghalangi propagasi gelombang radio antara pemancar dan penerima. Pada propagasi ruang bebas hanya ada rugi-rugi sinyal sebagai fungsi atau pengaruh jarak antara pemancar dan penerima.

Pemodelan yang paling sederhana adalah apabila terjadi kondisi saling dapat melihat antara pemancar dan penerima. Jika kondisi ini terpenuhi dan hanya ada satu sinyal langsung yang diterima, sehingga perhitungan redaman dilakukan dengan menggunakan formula khusus untuk redaman ruang bebas atau *Free Space Loss* (FSL).

$$FSL = 34.5 + 20 \log f + 20 \log d \quad (1)$$

Pada redaman ruang bebas (FSL), ada dua variabel yang mempengaruhi kualitas sinyal, yaitu frekuensi pembawa (*carrier*) yang digunakan dituliskan dalam f dan d yaitu *distance* atau jarak antar *transmitter* dan *receiver*.

2. Pemodelan Rumus Empiris

Model propagasi berdasarkan kondisi lingkungan pemancar dan penerima dibedakan menjadi dua, yaitu propagasi *indoor* dan model propagasi *outdoor*. Sehingga rumus empiris untuk model propagasi *indoor* berbeda sehingga berbeda dengan model propagasi *outdoor*. Pada model propagasi *indoor* ada beberapa parameter yang perlu dimasukkan dalam perhitungan, seperti jumlah dinding dan lantai.

Pemodelan empiris propagasi *indoor* yang memperhitungkan rugi-rugi partisi antar lantai, dapat menggunakan Model Keenan Motley, One Slope Model, dan COST 231 Multi-Wall Model.

a. One Slope Model

Model propoagasi ini hanya memperhatikan parameter perhitungan dengan pathloss eksponen. Dengan pathloss eksponen, penggunaan model ini dapat di kalibrasi untuk beberapa skenario. Akan tetapi, dinding dan elemen-elemen gedung yang lainnya tidak mempengaruhi pada model ini.

b. Keenan Motley Model

Motley Keenan Model memperhitungkan dari seluruh dinding pada bidang vertikal diantara *transmitter* dan *receiver*. Attenuasi untuk seluruh lantai adalah sama. Jenis dinding dan material lain yang terdapat disuatu bangunan juga dapat diperhitungkan, sehingga model Keenan Motley ini cukup ideal dalam proses simulasi jaringan indoor.

c. COST 231 Multi-Wall Model

COST 231 Model mempertimbangkan seluruh dinding pada pada bidang *vertikal* dan *horizontal* antara *transmitter* dan *receiver*. Pada masing-masing dinding penghalang, terdapat nilai redaman atau propertis materialnya. Sehingga dapat memberikan ketepatan dalam perhitungan model empiris.

Sebagai contoh dengan bertambahnya dinding yang dilewati sinyal maka attenuasi akan semakin banyak, sehingga pada model COST 231MWL ini akan mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi ruangan. Rumus propagasi COST 23 MWL dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{pi} = FSL + 20 \log d + \sum_{i=1}^M k_{wi} L_{wi} + k_f \left[\frac{(k_f+2)}{(k_f-1)} - 0.46 \right] L_f \quad (2)$$

Dalam model propagasi ini, K_w atau *penetration wall* atau jumlah dinding yang menjadi pembatas antara InH *transmitter* dan *receiver*. K_f atau *penetration floors* atau jumlah lantai yang menjadi pembatas. Nilai redaman penyekat dinding atau *loss between walls* dan dan lantai atau *loss between floors* dituliskan pada rumus dengan L_w dan L_f . Untuk M adalah jumlah dari bahan penyusun dinding (*Number of walls*)

3. Konsep Small Cells

Small Cells atau biasa dikenal sebagai *access point base station* berukuran kecil yang memancarkan daya rendah dan menggunakan air interface selular seperti pada Macro Cells. Small cells terhubung ke penyedia jaringan melalui jaringan broadband, yaitu Optic, Ethernet atau DSL (*Digital Subscriber Line*) yang dituliskan pada buku Firdaus dan Nugraha (2016). Small Cells membantu penyedia layanan untuk memperluas jangkauan di area dalam ruangan terutama di area dengan membutuhkan layanan dengan jaringan yang terbatas misalnya perkantoran, perhotelan, mall, dsb. Small Cells juga mempunyai kelebihan adanya *added services* yang menjadi nilai tambah dan sebagai lahan bisnis bagi pengembang teknologi Small Cells.

MODEL SISTEM

Model sistem bertujuan untuk memudahkan dalam proses analisis hasil. Tujuan lainnya adalah untuk memudahkan dalam menghitung pendistribusian daya yang berasal dari pengirim atau antenna *transmitter* ke antenna *receiver* atau penerima sesuai dengan kondisinya. Apabila daya dari antenna *transmitter* terdistribusi dengan baik, maka

penerima juga akan mendapatkan daya yang optimal. Penempatan jenis antenna dan pemilihan perangkat juga merupakan bagian penting dan harus diperhitungkan sesuai dengan kondisi lingkungan.

1. Parameter Sistem

Tabel. 1 berikut merupakan parameter yang digunakan untuk perancangan sistem jaringan Small Cells di Gedung Vokasi Universitas Telkom.

TABEL 1. Parameter Sistem Jaringan Indoor Hspot

No	Parameter	Nilai
1	Transmitter	
	Transmit Power (dBm)	10
	Tinggi antenna (m)	2,8
	Tipe antenna	Omni
2	Receiver	
	Tipe antenna	Omni
	Polarisasi antenna	Vertical
	Tinggi antenna (m)	1,2

2. Perencanaan Jaringan InH

Perencanaan jaringan InH menggunakan persamaan Cost 231 Multiwall Model untuk memodelkan propagasi jaringan *indoor*. Pemodelan jaringan indoor dilakukan dengan perhitungan link budget untuk memaksimalkan kualitas sinyal pada *receiver* atau yang disebut dengan MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*).

Perhitungan link budget dilakukan untuk menghitung area cakupan InH dengan mengetahui MAPL agar pengirim dan penerima saling berkomunikasi. Link budget merupakan perhitungan daya berdasarkan besarnya nilai keluaran dari pemancar dengan mempertimbangkan gain dan loss sepanjang jalur transmisi radio dari pemancar ke penerima. Pada sistem komunikasi bergerak, perhitungan link budget dilakukan dari dua arah yaitu dari user ke InH yang disebut arah *uplink* dan dari InH ke user yang disebut arah *downlink*.

TABEL 2. Perhitungan MAPL Dari Arah Uplink

No	Parameter	Nilai	Formula
Transmitter			
A	Max Power(dBm)	24	
B	Antena Gain (dBi)	0	

C	Body Loss (dB)	0	
D	EIRP (dBm)	24	d=a+b-c
Receiver			
E	Noise Fig (dB)	2	
F	Thermal Noise (dBm)	-137.5	KTb
G	Receiver Noise Floor (dBm)	-135.5	g=e+f
H	SINR (dB)	-7	
L	Receiver Sensitivity (dBm)	-142.5	i=g+h
J	Load Factor	0.7	70%
K	Interference Margin (dB)	1	
L	Cable Loss (dB)	0	
M	Antena Gain (dBi)	0	
N	Fast Fade Margin (dB)	0	
O	Maximum Path Loss	157.5	o=d-i-k+m-n

TABEL 3. Perhitungan MAPL Dari Arah Downlink

No	Parameter	Nilai	Formula
Transmitter			
A	Max Power(dBm)	10	
B	Antena Gain (dBi)	0	
C	Body Loss (dB)	0	
D	EIRP (dBm)	20	d=a+b-c
Receiver			
E	Noise Fig (dB)	7	
F	Thermal Noise (dBm)	-137.5	KTb
G	Receiver Noise Floor (dBm)	-130.5	g=e+f
H	SINR (dB)	-9	
L	Receiver Sensitivity (dBm)	-139.5	i=g+h
J	Load Factor	0.7	70%
K	Interference Margin (dB)	4	
L	Control Channel overhead (%)	0.1	10%
M	Maximum Path Loss	144.5	o=d-g-k

Daya pancar antenna atau disebut dengan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), berasal dari *transmit power* ditambah dengan antenna *gain*. Antena *gain* 0dB karena menggunakan antena *omni directional*. Rumus EIRP adalah sebagai berikut :

$$EIRP = \text{Transmit Power} + \text{gain antena} \quad (3)$$

Daya terima pada antena penerima (*received signal*) didapat dari daya pancar antena dikurangi dengan readaman propagasi dalam

kasus ini adalah propagasi indoor seperti pada persamaan (2), dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Received Signal} = EIRP - \text{Redaman Propagasi indoor} \quad (4)$$

Dari perhitungan MAPL, redaman propagasi indoor untuk uplink atau MAPL yang harus dipenuhi maksimal sebesar 157.5 dB dan untuk downlink sebesar 144.5 dB.

3. Karakteristik Gedung

Seperti yang dituliskan pada Tabel bahwa Gedung tersebut memiliki 4 lantai dengan beberapa material penyusunnya adalah dinding dari beton, kaca, dan kayu.

Pada Tabel 4-7 berikut adalah jumlah obstacle sehingga dapat menentukan total redaman yang dilewati oleh sinyal dari satu antena *transmitter* InH ke *receiver*.

TABEL 4. Obstacle Lantai Dasar dan Total Loss

Jenis Obstacle	dB	Jumlah	Total (dB)
Kaca	0.8	2	1.6
Dinding	10	6	60
Pintu Gypsum	5	2	10
Total Redaman			71.6

TABEL 5. Obstacle Lantai 1 dan Total Loss

Jenis Obstacle	dB	Jumlah	Total (dB)
Kaca	0.8	9	3.2
Dinding	10	6	70
Pintu Gypsum	5	1	20
Total Redaman			93.2

TABEL 6. Obstacle Lantai 2 dan Total Loss

Jenis Obstacle	dB	Jumlah	Total (dB)
Kaca	0.8	3	2.4
Dinding	10	6	60
Pintu Gypsum	5	1	5
Total Redaman			67.4

TABEL 7. Obstacle Lantai 3 dan Total Loss

Jenis Obstacle	dB	Jumlah	Total (dB)
Kaca	0.8	3	2.4
Dinding	10	3	30
Pintu Kayu	5	1	5
Total Redaman			37.4

4. Perhitungan Coverage

Perhitungan *coverage* Small Cells dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) untuk area FSL dan persamaan (2) untuk kondisi ruangan yang terdapat penghalang, misalnya ada dinding antara *transmitter* dan *receiver*. Sehingga, dalam menentukan luas area *coverage* dari Small Cell ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Coverage} = 2.6 \times d^2 \quad (5)$$

Sehingga perhitungan jumlah small cell dalam area gedung tersebut adalah :

$$\sum \text{Small Cells} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Coverage}} \quad (6)$$

SIMULASI DAN ANALISIS

Dari hasil perhitungan dari persamaan (6), didapatkan jumlah Small Cells seperti pada Tabel 7.

TABEL 7. Jumlah Small Cells Tiap Lantai

Lantai	Jumlah (Small Cells)
Lantai Dasar	6
Lantai 1	7
Lantai 2	6
Lantai 3	6

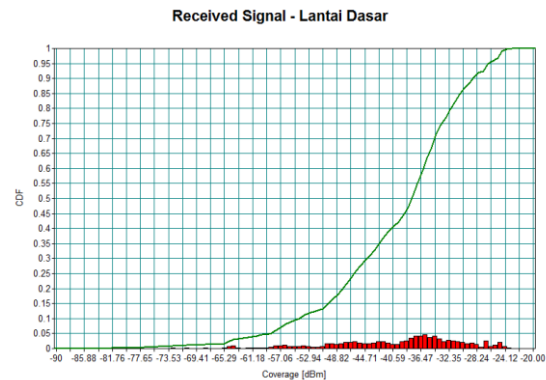
Dari data ditampilkan pada table tersebut, menunjukkan bahwa gedung pada lantai 1 terdapat banyak penyekat ruangan berupa dinding, sehingga membutuhkan perangkat 7 Small Cells. Pada lantai tersebut juga sebagai pusat pembelajaran, sehingga dibutuhkan jaringan komunikasi yang baik.

1. Hasil Simulasi Lantai Dasar

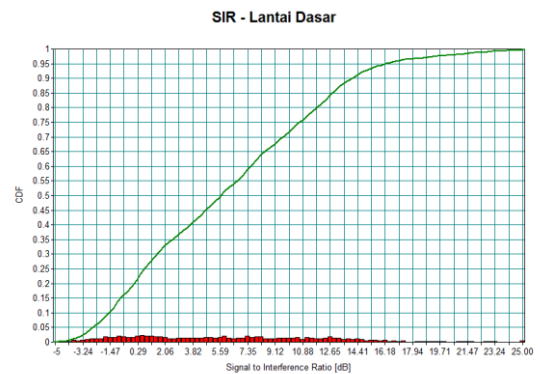
Gambar 1 berikut adalah hasil simulasi untuk melihat kualitas sinyal penerima (*received sinal*) pada lantai dasar gedung. Dari hasil perhitungan terdapat 6 antenna InH yang ditempatkan diseluruh ruangan, meunjukkan bahwa *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -100dBm dan paling besar sekitar -40dBm.

Dilihat dari kualitas *Signal to Interference Noise Rasio (SIR)* yang ditampilkan pada Gambar 2,

pada lantai dasar nilai SIR paling rendah diantara -5dB dan paling tinggi sekitar 25dB.



GAMBAR 1. Grafik Kualitas Sinyal Penerima Lantai Dasar



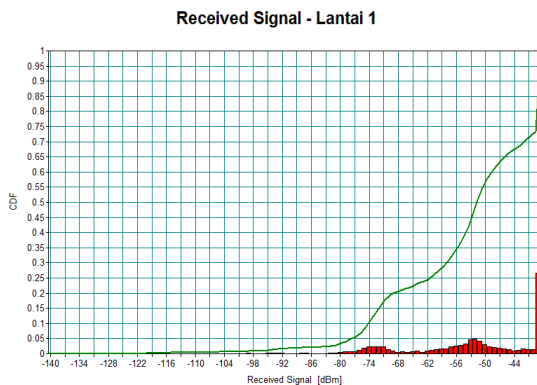
GAMBAR 2. Grafik Kualitas SIR Lantai Dasar

2. Hasil Simulasi Lantai 1

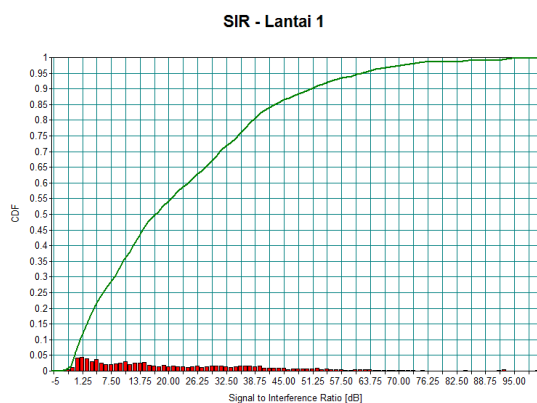
Gambar 3 dan Gambar 4 berikut adalah hasil simulasi pada lantai 1 gedung untuk melihat kualitas sinyal penerima (*received sinal*) dan kualitas Signal to Interference Noise Rasio (SIR). Dari hasil perhitungan, terdapat 7 antenna Small Cells InH yang ditempatkan diseluruh ruangan. Jumlah penempatan antenna pada lantai 1 lebih banyak dibandingkan dengan yang lain karena banyak penyekat ruangan berupa dinding.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas *received signal* paling rendah sekitar -100dBm tetapi hanya beberapa di titik tertentu. Pada simulasi ini tidak mempertimbangkan perancangan antenna pada bagian *lift* yang konstruksi bahan penyusunnya berupa baja. Baja adalah bahan yang memiliki redaman yang cukup tinggi, sehingga di area tersebut tidak mendapatkan sinyal dari antenna InH.

Dilihat dari kualitas SIR yang ditampilkan pada Gambar 4, pada lantai 1 nilai SIR paling rendah menduduki paling banyak diantara 1 dB sampai sekitar 30dB. Dengan kondisi ini, kualitas SIR dengan 7 antenna InH memberikan nilai yang paling bagus.



GAMBAR 3. Grafik Kualitas Sinyal Penerima Lantai 1



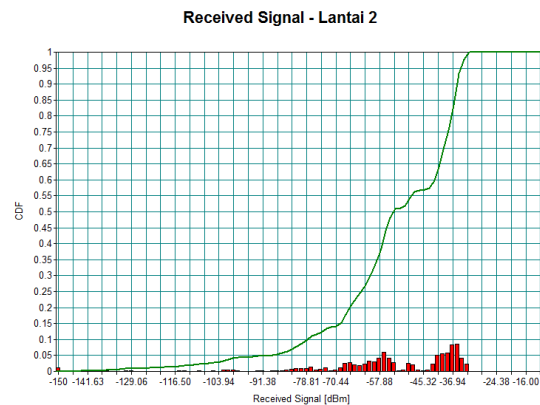
GAMBAR 4. Grafik Kualitas SIR Lantai 1

3. Hasil Simulasi Lantai 2

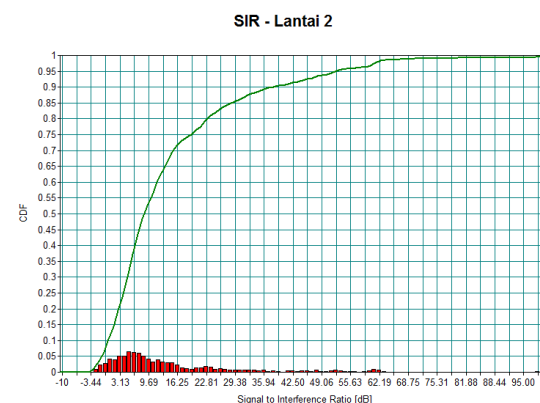
Gambar 5 dan Gambar 6 berikut adalah hasil simulasi pada lantai 1 gedung untuk melihat kualitas *received sinal* dan SIR . Dari hasil perhitungan, terdapat 6 antenna Small Cells InH yang ditempatkan diseluruh ruangan.

Hasil simulasi meunjukkan bahwa *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas *received signal* masih menjamin kualitas sinyal dintara -80dBm. Dari sudut pandang SIR, pada lantai tersebut masih memungkinkan terjadinya komunikasi yaitu

dengan grafik SIR lebih banyak menduduki di area positif.



GAMBAR 5. Grafik Kualitas Sinyal Penerima Lantai 2



GAMBAR 6. Grafik Kualitas SIR Lantai 2

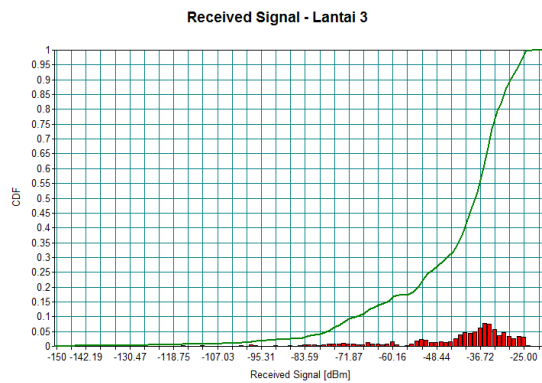
4. Hasil Simulasi Lantai 3

Gambar 7 dan Gambar 8 berikut adalah hasil simulasi pada lantai teratas gedung atau lantai 3. Konstruksi dan kondisi ruangan pada lantai ini hamper mirip dengan lantai satu dengan tidak banyak penyekat lain karena merupakan ruang seminar. Dari hasil perhitungan juga mendapatkan 6 antenna Small Cells InH yang ditempatkan diseluruh ruangan.

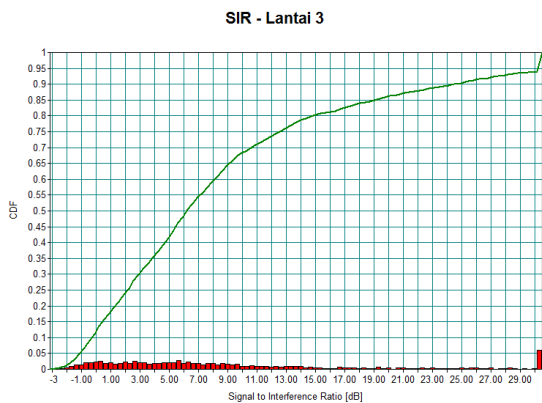
Hasil simulasi meunjukkan bahwa *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas *received signal* masih menjamin kualitas sinyal dintara, yang bernilai diatas -80dBm sehingga dari kualitas sinyal tergolong dalam kondisi baik.

Dari sudut pandang SIR, pada lantai tersebut juga masih memungkinkan terjadinya

komunikasi yaitu dengan grafik SIR lebih banyak menduduki di nilai positif.



GAMBAR 7. Grafik Kualitas Sinyal Penerima Lantai 3



GAMBAR 8. Grafik Kualitas SIR Lantai 3

5. Rata- Rata Hasil Simulasi

Pada Tabel 8 menunjukkan nilai rata- rata level daya terima dan SIR untuk keseluruhan lantai.

TABEL 8. Rata- rata Received Signal dan SIR

Lantai	Rata- Rata Received Signal (dBm)	Rata- Rata SIR (dB)
Lantai Dasar	-40.60	6.26
Lantai 1	-51.94	23.14
Lantai 2	-53.35	15.32
Lantai 3	-44.18	11.21

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pada lantai dasar rata- rata *received signal*-nya paling baik dengan nilai daya terima sebesar -40.60dBm. Akan tetapi rata- rata nilai SIR nya paling rendah dibandingkan dengan yang lain,

dengan nilai SIR sebesar 6.26dB. Kondisi ini terjadi karena pada lantai dasar tidak banyak penghalang yaitu penyekat ruangan yang menghalangi daya pancar tiap antenna sehingga menyebabkan interferensi antar sinyal yang dipancarkan oleh antenna InH Small Cells.

Kualitas SIR paling bagus terdapat pada lantai satu. Dengan penempatan 7 perangkat InH Small Cells atau paling banyak dibanding dengan lantai lain. Tetapi pada lantai ini masih memberikan kualitas SIR yang bagus. Hal ini terjadi karena terdapat banyak penyekat ruangan berupa dinding. Akan tetapi, kualitas rata- rata *received signal*-nya masih dalam kualitas baik dengan nilai daya terima sebesar -51.94dBm.

KESIMPULAN

Hasil keseluruhan simulasi dapat disimpulkan bahwa daya pancar keseluruhan antenna dapat memenuhi setiap lantai dengan baik karena memenuhi standar yaitu *received signal* pada sisi penerima lebih besar dari -80 dBm dan SIRnya menduduki nilai positif.

Pada lantai dasar rata- rata *received signal* paling baik dengan nilai daya terima sebesar -40.60dBm. Akan tetapi pada lantai dasar rata- rata nilai SIR nya paling rendah dibandingkan dengan yang lain dengan nilai SIR sebesar 6.26dB. Kondisi ini terjadi karena pada lantai dasar tidak banyak penghalang yaitu penyekat ruangan yang menghalangi daya pancar tiap antenna sehingga menyebabkan interferensi antar sinyal yang dipancarkan oleh antenna InH Small Cells.

Kualitas SIR paling bagus terdapat pada lantai satu gedung. Dengan penempatan 7 InH Small Cells atau paling banyak dibanding dengan lantai lain, tetapi pada lantai ini masih dapat memberikan kualitas SIR yang bagus. Hal ini terjadi karena terdapat banyak penyekat ruangan berupa dinding. Kualitas rata- rata *received signal*-nya juga masih dalam kualitas baik dengan nilai daya terima sekitar -50dBm.

REKOMENDASI

Rekomendasi yang diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

- Simulasi pada software simulator bisa bernilai berbeda dengan kondisi lapangan. Hasil pancaran yang dihasilkan juga kurang bisa memberikan gambaran yang sesuai dengan kondisi real di lapangan karena ada beberapa jenis material yang tidak dimiliki oleh software simulator.
- Simulasi hanya bertujuan membantu proses dalam perancangan. Oleh karena itu perlu diadakan evaluasi atau optimasi jaringan setelah dilakukan implementasi dari perancangan jaringan tersebut.
- Untuk penelitian lebih lanjut perlu dipertimbangkan pengalokasian pita frekuensi pada setiap perangkat, agar interferensi antar perangkat dapat di minimalisir dengan tidak mengurangi kualitas jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- 3GPP TR 36.921 V9.0.0 (2010), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis (Release 9)," Maret 2010.
- Firdaus and Nugraha, T.A (2016). "The Next Generation of ICT Network; NGN, FTTH, M2M, WSN, IoT." *Teknosain-Graha Ilmu Press*.
- Jie Zhang, Guillaume de la Roche (2010), "Femtocell: Technologies and Deployment." University of Bedfordshire, UK. Wiley
- Hikmaturokhman, A., Larasati, S. and Nugraha, E.S.,(2016). "Analysis Cost 231 Multi Wall Model on 4G LTE FDD 1800 and 900 MHz Femtocell Network Planning", *Journal of Applied Information and Communication Technologies*.
- Hikmaturokhman, A, Wardana, L (2014). 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta: Penerbit nulis buku.
- Nugraha, T.A (2009), "Perancangan dan Simulasi Jaringan UMTS indoor Studi Kasus di Gedung Politeknik Telkom.", Telkom University.
- Nugraha, T. A., & Nachwan Mufti, A. (2011). Simulasi dan Analisis Algoritma Manajemen Interferensi pada LTE Femtocell. Institut Teknologi Telkom, Telkom University.
- Nugraha, T.A and Shin, S.Y (2014), "Inter-Cell Interference Coordination in Heterogeneous Networks with Open Access of Small Cells." 2014 *년도대한전자공학회하계종합학술대회*, 446-449.
- Shin, S.Y and Nugraha, T.A, (2013) "Cooperative water filling (coopwf) algorithm for small cell networks." 2013 *International Conference on ICT Convergence(ICTC). IEEE*.

PENULIS:

Toha Ardi Nugraha

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183.

Email:

toha@ft.umy.ac.id

toha.ardi@gmail.com