

ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN *IN-BUILDING COVERAGE* (IBC) LTE DI BANDARA HANG NADIM

IN BUILDING COVERAGE (IBC) LTE NETWORK PLANNING ANALYSIS AT HANG NADIM AIRPORT

Adnan Rachman¹, Uke Kurniawan Usman², M. Irfan Maulana³

1,2,3 Universitas Telkom

¹ adnanrachman@gmail.com ² ukeusman@telkomuniversity.ac.id ³ muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Layanan jaringan seluler LTE untuk area *indoor* yang memiliki kualitas kurang baik apabila hanya mengandalkan jaringan *outdoor* dari *macrocell*. Diperlukan suatu perencanaan *Indoor Building Coverage* (IBC) yang diterapkan pada bangunan publik yang sering dikunjungi banyak orang untuk memperbaiki kualitas layanan jaringan LTE area *indoor* yang kurang baik. Salah satu area *indoor* publik tersebut adalah Bandara Hang Nadim Batam. Perencanaan dilakukan dengan melakukan *walktest*, survei denah dan data pengunjung, perhitungan jumlah site, penentuan DAS, dan simulasi. Untuk memenuhi target perencanaan IBC LTE dari sisi *coverage* maupun *capacity* secara optimal, dibutuhkan sebanyak 4 *antenna* site di tiap lantainya. Melalui hasil simulasi dari *software* RPS 5.4 nilai RSRP untuk tiap lantai dasar, lantai 1, serta simulasi ketika di gabungkan seluruh lantai bernilai -82.33 dBm, -75.81 dBm, dan -74.49 dBm. Untuk nilai SIR dari lantai dasar, lantai 1, serta simulasi ketika di gabungkan seluruh lantai bernilai 23.79 dB, 22.66, 12.07 dB. Hasil dari simulasi yang diperoleh perencanaan jaringan IBC LTE ini telah memenuhi standar KPI (*Key Performance Indicator*) dari operator Indosat Ooredoo.

Kata kunci: IBC LTE, *Capacity Planning*, *Coverage Planning*, *SIR*, *RSL*

Abstract

LTE mobile network services for indoor areas that have lesser quality if only rely on outdoor network from macrocell. An Indoor Building Coverage (IBC) plan is required in public buildings that are frequently visited by many people to improve the quality of LTE indoor area network services. One of these public indoor areas is Hang Nadim Airport Batam. This planning had done by doing walktest, survey plan and collecting visitor data, calculation of site, determination of DAS, and simulation. To meet IBC LTE planning targets in terms of coverage and capacity optimally, it takes as many as 4 antenna sites on each floor. Through simulation results from RPS 5.4 the RSRP value for each ground floor, 1st floor, and simulation when combined all floors is -82.33 dBm, -75.81 dBm, and -74.49 dBm. For SIR value from ground floor, 1st floor, and simulation when combined all floors is 23.79 dB, 22.66, 12.07 dB. The results of the simulation obtained by IBC LTE network planning have met the KPI (Key Performance Indicator) standard of Indosat Ooredoo operator.

Key Words: IBC LTE, *Capacity Planning*, *Coverage Planning*, *SIR*, *RSL*

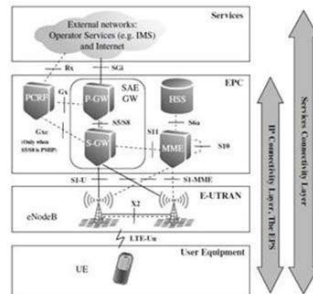
1. Pendahuluan

Perkembangan Teknologi komunikasi sangat berkembang dengan pesat, hal ini ditandai dengan jumlah pelanggan seluler di Indonesia mencapai angka 338.948.340 jiwa ^[1]. Kecepatan dalam *transfer rate* merupakan hal yang sangat penting dalam aspek layanan jaringan seluler. Tidak hanya layanan suara namun layanan data sudah menjadi bagian dari prioritas karena kebutuhan akan informasi dan multimedia sangat tinggi. Sementara kondisi existing received signal level yang diterima user di bandara Hang Nadim sebesar -117.83 dBm dan 2.18 dB untuk nilai signal interference ratio. Kondisi existing RSL dan SIR yang kurang baik untuk dapat menggunakan layanan LTE. Maka perlu di dilakukan perencanaan IBC LTE *indoor*, perencanaan ini dilakukan dengan menggunakan *bandwidth* sebesar 10 MHz, dan frekuensi 900 MHz dengan model propagasi cost-231 multiwall. Dari hasil perencanaan ini diharapkan mampu mengatasi masalah kebutuhan akses jaringan LTE di bandara Hang Nadim untuk memperoleh nilai RSL dan SIR sesuai dengan standar KPI operator.

2. Dasar Teori

2.1 Konsep Dasar LTE

Teknologi *wireless* generasi ke-4 meliputi seluruh teknologi *broadband wireless* yang memiliki kemampuan diatas kemampuan teknologi 3G yang dapat memberikan layanan *IP-based*, *voice*, *data*, dan *streaming multimedia* dengan kecepatan *quality of experience (QoE) / quality of service (Qos)* yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi 3G. , pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. [2]



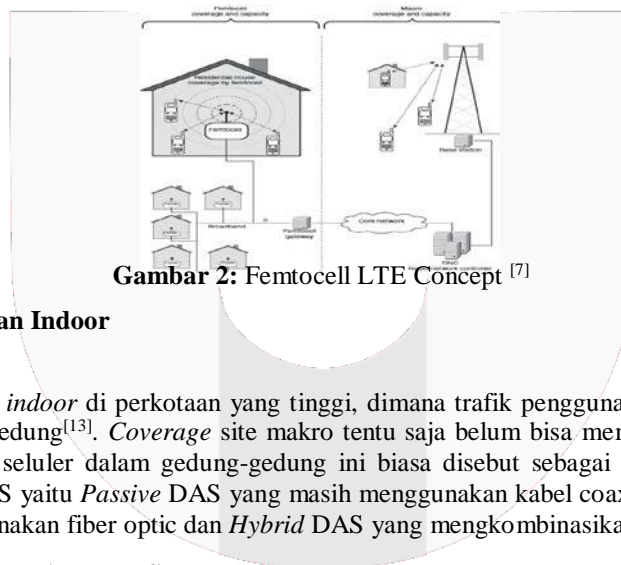
Gambar 1: Arsitektur Jaringan Long Term Evolution [2]

2.2 Indoor Building Coverage

In-Building Coverage merupakan suatu sistem yang diterapkan di dalam gedung untuk mendukung sistem di luar gedung (*macrocell* dan *microcell*) agar dapat memenuhi kualitas standar layanan seluler [8].

2.3 Femtocell

Femtocell adalah jenis *wireless* akses yang memiliki daya relatif kecil, cukup untuk mengcover area yang terbatas. Ciri penting yang dimiliki femtocell antara lain *dedicated capacity*, *coverage* terbatas, beroperasi pada spektrum lisensi, dan bergantung dengan koneksi *backhaul*. [7]



Gambar 2: Femtocell LTE Concept [7]

2.4 Perencanaan Jaringan Indoor

Kebutuhan site – site *indoor* di perkotaan yang tinggi, dimana trafik pengguna selulernya mulai dari 70 – 80% berasal dari dalam gedung [13]. *Coverage* site makro tentu saja belum bisa memenuhi kebutuhan *coverage indoor*. Jaringan antenna seluler dalam gedung-gedung ini biasa disebut sebagai *Distributed Antenna System (DAS)*. Ada tiga jenis DAS yaitu *Passive DAS* yang masih menggunakan kabel coaxial untuk saluran antenanya, *Active DAS* yang menggunakan fiber optic dan *Hybrid DAS* yang mengkombinasikan keduanya.

2.4.1 Passive Distributed Antenna System [7]

Passive DAS merupakan solusi sistem DAS yang menggunakan kabel *coax* sebagai kabel transmisinya. Passive DAS yang digunakan pada Tugas Akhir ini mendukung perangkat support reaktif dengan tambahan perangkat *hybrid combiner*.

Keunggulan yang didapat dari menggunakan sistem DAS ini salah satunya adalah kompatibel dengan komponen dari berbagai manufaktur, lebih tahan di lingkungan yang keras, dan hemat penggunaan kabel *feeder* pada sistem antenna MIMO yang mana pada DAS pasif membutuhkan 2 tarikan kabel, dengan menggunakan perangkat tersebut DAS dapat menghemat dengan 1 tarikan kabel saja.

2.4.2 Capacity Dimensioning

Capacity Dimensioning bertujuan untuk mendapatkan jumlah *site* yang dapat memenuhi kebutuhan dari estimasi kapasitas. Pada dasarnya *Capacity Dimensioning* memiliki 2 bagian perhitungan, yaitu *single site* dan *total network throughput*.

$$\text{Jumlah antenna} = (\text{UL/DL Network Throughput}) / (\text{UL/DL Cell Average Throughput})$$

(2.1) [16]

2.4.3 Coverage Dimensioning

Coverage dimensioning dilakukan untuk memenuhi kebutuhan area agar tercapuk sinyal seluler. Pada perhitungan coverage dilakukan pemilihan model propagasi COST-231 Multiwall sesuai target perencanaan, populasi dan clutter. Melalui pemilihan model propagasi yang tepat dan benar maka semakin tinggi tingkat akurasi pada perencanaan tersebut. Pada teorinya pemodelan sel digambarkan dalam bentuk hexagonal, namun pada kenyataan bentuk sel dapat berubah sesuai dengan kondisi dilapangan.

$$LTE_{cell} = \frac{LLC}{I} \quad (2.2)^{[16]}$$

2.5 RF Parameter

2.5.1 Reference Signal Receiver Power (RSRP)^[22]

Reference Signal Receive Power (RSRP) merupakan daya dari resource element yang diterima (Watt) dari elemen sumber daya sinyal. Untuk menghitung besarnya nilai RSRP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$RSRP = RSSI - 10 \log (12 \times NRb) \quad (2.3)^{[22]}$$

2.5.2 Signal to Interference Noise Ratio ^[22]

Signal to Interference Noise Ratio (SINR) merupakan perbandingan nilai daya yang diterima UE dengan interferensi yang ditambahkan dengan noise. Untuk mendapatkan nilai SINR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$SINR = \frac{I}{I+N} \quad (2.4)^{[22]}$$

3. Perencanaan Jaringan IBC

3.1 Deskripsi Perencanaan Jaringan IBC

Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan perencanaan jaringan IBC LTE di bandara Hang Nadim menggunakan frekuensi 900MHz. Perencanaan jaringan indoor ini akan dilakukan pada area publik di terminal bandara Hang Nadim dengan operator Indosat Ooredoo sebagai rujukan penelitiannya. Indoor Building Coverage (IBC).

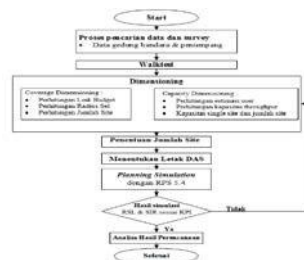
Proses perencanaan jaringan indoor ini diawali dengan melakukan Walktest menggunakan UE yang sudah terintegrasi dengan software TEMS Investigation. Kemudian survey gedung untuk mengetahui bentuk area indoor dan material bangunan yang digunakan.

Perencanaan jaringan indoor tentunya juga membutuhkan perhitungan untuk beberapa parameter seperti, jumlah pengguna seluler, service model, link budget yang nantinya perhitungan tersebut akan digunakan untuk menentukan jumlah antenna yang akan digunakan. Umumnya dalam perencanaan jaringan LTE ada 2 metode yang digunakan, yaitu berdasarkan capacity dan berdasarkan coverage. Kedua metode perencanaan tersebut bertujuan untuk menghasilkan jumlah site yang akan dibutuhkan.

Hasil yang telah didapatkan dibandingkan untuk dipilih salah satunya sebagai acuan untuk simulasi. Perencanaan ini menggunakan software RPS 5.4 untuk mendapatkan nilai parameter RF. Dibuatkan juga penjaluran kabel untuk memudahkan dalam penentuan lokasi Base Station dan komponen – komponen yang diperlukan dalam perancangan Distributed Antenna System (DAS), yang mana dalam pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan Passive DAS.

Adapun keluaran yang diharapkan dari Tugas Akhir yaitu didapatkannya nilai parameter RF berupa RSRP dan SIR dari hasil simulasi perencanaan indoor building coverage yang mendekati nilai standar KPI operator Indosat Ooredoo.

3.2 Proses Perencanaan



Gambar 3 Diagram Alir Pengerjaan

3.2.1 Informasi Teknis Bandara Hang Nadim

A. Terminal Penumpang

Tabel 1: Informasi Terminal Bandara Hang Nadim [26]

Lantai	Luas Area (m ²)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi Per Lantai (m)	Area
Dasar	14871.5	384	52	5	Kedatangan
1	17342.3	388	56	5	Keberangkatan

B. Jumlah Penumpang Pesawat di Terminal

Tabel 1: Data Jumlah Penumpang Bandara Hang Nadim [27]

Th.2016	DATA PENUMPANG BANDARA HANG NADIM				
BULAN	Hari	Kedatangan	Keberangkatan		
Juli	30 hari	324215	286773	10807	9559

3.2.2 Walktest

Walktest digunakan untuk mengukur parameter level daya sinyal dan kualitas sinyal LTE yang diterima dalam gedung tersebut. Pada Tugas Akhir ini walktest menggunakan software TEMS Investigation versi 14.0.2 untuk melihat nilai parameter Reference Signal Power (RSRP), Reference Signal Receive Quality (RSRQ), dan Carrier to Interference Noise Ratio (CINR). Hasil walktest yang didapat di area terminal bandara Hang Nadim antara lain RSRP dengan nilai -113.3 dBm, CINR 1.31 dB, dan RSRQ -11.8 dB.

3.2.3 Coverage Dimensioning

Perhitungan coverage bertujuan untuk mengetahui berapa banyak antenna yang dibutuhkan dalam sebuah perancangan jaringan indoor. Perhitungan coverage meliputi persiapan data eksisting gedung seperti map dan luas gedung, penentuan model propagasi yang digunakan, menghitung data seperti loss/gain perangkat, link budget untuk mendapatkan nilai EIRP dan MAPL, menghitung path loss untuk mendapatkan besarnya radius cakupan sebuah antenna dan mendapatkan jumlah antenna yang dibutuhkan dalam perencanaan. Dalam perencanaan LTE indoor ini menggunakan frekuensi 900 MHz. dan digunakan model propagasi Cost 231 Multi Wall Model untuk mendapatkan nilai radius cell.

$$L_T = L_{FSL} + L_c + \sum_{i=1}^n [\dots] + [\dots] \times L_F \tag{16}$$

$$N_{LTE_{cell}} = \frac{17342.3}{4843.30989} = 3.5806 \approx 4 \text{ antenna} \tag{16}$$

3.2.4 Capacity Dimensioning

Capacity Dimensioning dilakukan untuk mendapatkan jumlah site yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan dari estimasi kapasitas yang telah dihitung. Pada dasarnya Capacity Dimensioning memiliki 2 bagian perhitungan, yaitu single site dan total network throughput [15].

Tabel 3: Perhitungan jumlah antenna berdasar Capacity Dimensioning

Terminal	Network Throughput (MAC)		Single Site Throughput (MAC)		Number of FAP Calculation		Jumlah Site
	Uplink (Kbps)	Downlink (Kbps)	Uplink (Kbps)	Downlink (Kbps)	Uplink	Downlink	
Arrival (Lt. Dasar)	13615.5096	103033.258	40435.176	33695.976	0.33672438	3.05773	3
Departure (Lt.1)	12043.1211	91134.4532	40435.176	33695.976	0.29783773	2.70460	3

3.2.5 Diagram Pengkabelan Passive DAS

Pada perancangan indoor ini, untuk penempatan Radio Base Station (RBS) di letakan pada lantai dasar terminal. Lalu didistribusikan ke seluruh lantai menggunakan perangkat pasif yaitu Coax, Combiner, Hybrid, Splitter, Connector Antenna MIMO 2x2

Perangkat	Jumlah
Skema 4 antenna	32
Skema 3 antenna	24
Connector Din Commscope	22
Splitter 2 Way Hybrid Commscope	9
Splitter 4 Way Hybrid Commscope	2
Combiner Hybrid Commscope	1
MIMO Antenna 2x2 Commscope	8
RBS Huawei	1

Tabel 4: Daftar Perangkat yang Digunakan

4. Simulasi dan Analisis Perencanaan

4.1 Deskripsi Simulasi

Pada bab ini disimulasikan jumlah antenna yang digunakan dari perhitungan *capacity* dan *coverage dimensioning*. Langkah selanjutnya adalah simulasi menggunakan *software* RPS 5.4 berdasarkan jumlah antenna yang didapat dari perhitungan tersebut, sesuai letak perangkat aktif dan pasif yang sudah di tentukan di skema *wiring* diagram. Kemudian juga akan simulasikan pengaruh saat kondisi digunakan seluruh antenna untuk tiap lantainya, dan juga simulasi saat antenna yang digunakan hanya per-lantainya saja.

4.2 Penentuan Jumlah Antenna

Dikarenakan jumlah *antenna* yang diperoleh berbeda, pada Tugas Akhir ini dilakukan 4 skenario untuk membandingkan hasil *site* mana yang lebih baik untuk diimplementasikan. Skenario pertama lantai dasar dan lantai 1 akan diberikan 4 *antenna* (mengikuti *coverage dimensioning*), skenario kedua lantai dasar dan lantai 1 akan diberikan 3 *antenna* (mengikuti *capacity dimensioning*), skenario ketiga dan keempat mengikuti skenario pertama dan kedua dalam pemakaian jumlah antenna, namun dengan posisi antenna yang berbeda. Hasil dari keempat skenario tersebut dibandingkan untuk dilihat skenario dengan jumlah *antenna* mana yang paling sesuai dalam menghasilkan nilai RSRP dan SIR dengan standar KPI.

4.3 Simulasi

Pada simulasi aplikasi yang digunakan adalah RPS 5.4. Pada *software* ini dapat diatur material dari bangunan yang kita rancang, dikarenakan material – material yang digunakan gedung dapat mempengaruhi daya pancar dari suatu antenna.

Desain RPS pada tugas akhir ini telah disesuaikan dengan data denah gedung dan material gedung yang digunakan. Model propagasi yang digunakan pada simulasi ini adalah propagasi COST 231 *Multiwall* model. Simulasi RPS akan menghasilkan keluaran nilai RSSI yang merupakan level daya yang di terima di tiap area pancar, nilai RSSI tersebut nantinya akan diubah ke RSRP agar dapat dibandingkan dengan nilai KPI, kemudian ada SIR yaitu nilai rasio daya sinyal dan interferensi.

4.4 Hasil Simulasi dan Analisa

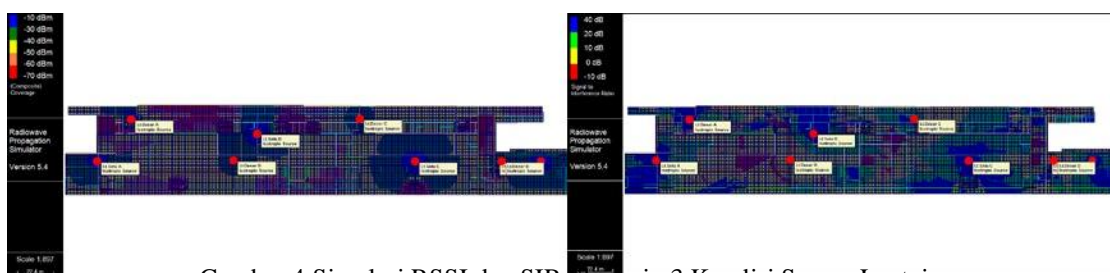
Simulasi pada jaringan IBC LTE ini menggunakan 2 skema, yang pertama melakukan simulasi tiap lantai (lt. dasar dan lt.1), kemudian skema kedua simulasi seluruh lantai dilihat secara bersamaan.

Tabel 5: Hasil Simulasi RSRP dan SIR Skenario 1,2,3,4

Skenario 1			Skenario 2		
	RSRP (dBm)	SIR (dB)		RSRP (dBm)	SIR (dB)
Lantai Dasar	-81.92	23.11	Lantai Dasar	-85.972	27.74
Lantai 1	-74.32	20.63	Lantai 1	-78.68	24.92
Semua Lantai	-75.08	9.34	Semua Lantai	-80.23	9.28
Skenario 3			Skenario 4		
	RSRP (dBm)	SIR (dB)		RSRP (dBm)	SIR (dB)
Lantai Dasar	-82.33	23.79	Lantai Dasar	-85.32	26.91
Lantai 1	-75.81	22.66	Lantai 1	-80.82	22.11
Semua Lantai	-74.492	12.07	Semua Lantai	-77.39	14.35

Melalui tabel 5 hasil simulasi RSRP dan SIR dari skenario 1 dan 2, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan 4 antenna (skenario 1), dibandingkan dengan 3 antenna (skenario 2), skenario 1 mendapatkan hasil RSRP yang lebih baik, namun untuk nilai SIR baik dari skenario 1 dan 2, masih berada pada kategori cukup baik, sudah melewati standar operator KPI >5dB, tetapi belum melampaui hasil minimum agar mampu bekerja di modulasi 64QAM >10.8 dB. Dapat disimpulkan bahwa skenario 1 dan 2, masih dapat digunakan / dipilih sebagai pilihan, tetapi belum menghasilkan performa tertinggi dan optimal.

Dari tabel 5 juga dapat disimpulkan bahwa nilai RSRP yang dihasilkan dari skenario 3 dan 4 sudah dalam kategori baik, dan nilai SIR yang sudah berada pada kondisi optimal (baik). Namun yang perlu diperhatikan juga adalah hasil simulasi yang didapat dari skenario 3 dari hasil simulasi RSSI masih cukup banyak terdapat area potensial seperti ruang tunggu terminal yang mendapat kualitas sinyal *poor*, hal ini tentunya perlu diperhatikan dalam membuat keputusan pemilihan skenario yang akan diterapkan. Sehingga dalam penelitian ini yang dipilih untuk jumlah *antenna* dan skenario yang pas untuk perencanaan IBC LTE di bandara Hang Nadim adalah dengan menggunakan skenario 3.



Gambar 4 Simulasi RSSI dan SIR Skenario 3 Kondisi Semua Lantai

Tabel 6: Persentase SIR Semua Lantai skenario 3

Nilai	Persentase
X<0	4.508991166 %
1 s/d 10	44.63709708 %
11 s/d 20	30.40676693 %
X>20	20.44714482 %
Rata - rata	12.07 dB

Tabel 7: Persentase RSRP Semua Lantai skenario 3

Nilai	Persentase
-101 s/d -140	3.72442 %
-91 s/d -100	4.74881 %
-81 s/d -90	11.5586 %
>=-80	79.96812676 %
Rata – rata	-74.492 dBm

4.5 Analisa berdasarkan KPI

Penetapan jumlah *antenna* di Tugas Akhir ini menggunakan skenario 3 (4 antenna). Pada tabel 8 dapat dilihat perolehan hasil simulasi skenario 3 dibandingkan dengan standar KPI yang digunakan oleh operator.

Tabel 8 Hasil Simulasi nilai RSRP dan SIR dengan acuan KPI

Lantai	RSRP (dBm)	SIR (dB)	KPI	
			RSRP (dBm)	SIR (dB)
Lantai Dasar	-82.33	23.79	> -90 (90 %) area	> 5 (50%) area
Lantai Satu	-75.81	22.66		
Semua Lantai	-74.492	12.07		

Melalui hasil kelayakan RSRP dan SIR diatas dapat disimpulkan bahwa pemilihan 4 antenna pada tiap lantainya layak untuk di implementasikan karena telah melampaui batas minimum *standar* KPI operator, Penerapan IBC LTE dengan 4 antenna pada lantai dasar dan lantai satu bandara Hang Nadim menjadi solusi dalam meningkatkan performa jaringan existing, dari nilai RSRP sebelumnya yang berada di nilai > -108.8 dBm, dan nilai CINR yang berada di 2.18 dB, menjadi -74.49 dBm untuk RSRP dan 12.07 untuk SIR. Namun hasil ini akan memiliki sedikit perbedaan pada saat diimplementasikan, karena didalam simulasi dianggap semuanya nilai standar. Oleh karena itu perlu dilakukan kembali evaluasi dan optimasi jaringan ketika perencanaan ini dilakukan ke tahap implementasi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pada Tugas Akhir ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan skenario 3 hasil nilai RSRP meningkat dari -108.8 dBm menjadi -74.49 dBm, dan SIR yang sebelumnya 2.18 dB menjadi 12.07 dB.
2. Pemilihan perencanaan menggunakan skenario 3 yang dipilih untuk diimplementasikan karena selain memiliki hasil simulasi dengan performa tertinggi dan optimal, skenario 3 juga dapat meng-cover seluruh area yang potensial di bandara Hang Nadim Batam
3. Perencanaan ini layak untuk diterapkan karena telah memenuhi kriteria KPI operator, dengan nilai RSRP 91.51% \geq -90 dBm, sudah lebih dari 90% area, dan nilai SIR 50.85% \geq 5 dB, sudah lebih dari 50% area
4. Untuk mendapatkan nilai SIR yang bagus, posisi *antenna* dalam 1 lantai yang sama perlu dipisahkan oleh suatu batas atau *barrier*, dan untuk lantai yang berbeda untuk tidak diletakkan sejajar.
5. Perancangan dengan menggunakan *DAS* diperlukan untuk mendapatkan nilai EIRP untuk tiap antenna, karena nilai EIRP saat melakukan simulasi mempengaruhi *coverage* dan *interference* yang dihasilkan.

5.2 Saran

Adapun saran penulis Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan *software* simulasi lain yang memiliki fitur *indoor planning* yang lebih lengkap, dan RPS 5.4 pada tugas akhir ini masih menggunakan versi *student* hanya dapat menggambar 750 garis.
2. Jika hasil perhitungan *coverage* dan *capacity* yang berbeda, menggunakan hasil kebutuhan jumlah *antenna* terkecil masih tetap dapat dilakukan dengan catatan masih memenuhi standar minimum KPI operator.

6. Daftar Pustaka

- [1] [online] <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1844> [dikutip tanggal 26 November 2017]
- [2] Uke Kurniawan Usman, dkk, "Fundamental Teknologi Seluler LTE", Rekayasa Sains, Bandung 2012.
- [3] Baniar Hutasoit, Ir.Uke Kurniawan Usman, M.T., Hafidudin, ST.,M.T. 2017.Analisis Perencanaan Jaringan IBC LTE di Terminal Bandara Husein Sastranegara.Bandung. Universitas Telkom

- [4] Aldi Ahmad Sopian, Hasanah Putri, ST.,M.T, Moszes Angga A.ST.,M.T. 2016. Perencanaan Jaringan WCDMA Menggunakan Metode Indoor Building Coverage di Gedung Fakultas Ilmu Terapan Telkom University. Bandung. Universitas Telkom
- [5] Burton Sinaga, Hasanah Putri, ST.,M.T, Dwi Andi Nurmantris, ST.,M.T. 2016. Perencanaan Jaringan Indoor Untuk Teknologi LTE di Gedung Fakultas Ilmu Terapan Universitas Telkom. Bandung. Universitas Telkom
- [6] Binar Alam Pamungkas, Yuyun Siti Rohmah, S.T, M.T., Ishak Ginting,S.T.,M.T. 2017. Perencanaan Indoor Building Coverage (IBC) Pada Jaringan LTE di Gedung Cyprus Apartemen Newton. Bandung Universitas Telkom
- [7] Tolstrup, Morten. "Indoor Radio Planning A Practical Guide for 2G,3G and 4G, 3rd Edition". Chichester, West Sussex WILEY,2015
- [8] Harry Wang.2013. Global consumer survey of in-home mobile services and femtocells - Park Associates. Dursley, Cam. Small Cell Forum
- [9] [online] <http://www.exchangecommunications.co.uk/products/smart-building-and-cities/in-building-mobile-coverage.php> [dikutip tanggal 26 November 2017]
- [10] Zhang, Jie. Roche la de, Guillaume Femtocells Technologies and Development. 2010.Singapore. John Wiley & Sons Ltd
- [11] Alfin Hikmaturokhman, Solichah Larasati,Eka Setia Nugraha. Comparative Analysis Of Indoor Building Coverage (IBC) Planning On 4G LTE 1800 Mhz And 900 Mhz Using The Cost 231 Multiwall Model.2016.Malaysia.
- [12] Mobilecom laboratory .Lte Advanced And Wifi Femtocell Planning For Data Offload With Coverage Simulation Using Rps. Telkom University.Bandung
- [13] Morten Tolstrup.Indoor Radio Planning A Practical Guide for 2G,3G and 4G.1st Edition.2015.John Wiley & Sons, Ltd
- [14] Song, Lingyang. Jia Shen. Evolved Cellular Network Planning and Optimization
- [15] Syed Abdul Basit, Proffessor Riku Jäntti, Paolo Zanier.2009. Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tools, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution.Espoo. Helsinki University of Technology
- [16] Luthfi Mahfuzh, Heroe Wijanto, Uke Kurniawan Usman.2016. Analisis Perencanaan Integrasi Jaringan LTE Advanced Dengan Wifi 802.11n Existing pada Sisi Coverage.Malang. Institut Teknologi Nasional Malang
- [17] Elnashar, A., El-saidny, M. A., & Sherif, M. R. 2014. Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks. Chichester: John Wiley & Sons
- [18] Ericsson. 2013. Coverage and Capacity Dimensioning. Stockholm: Ericsson.
- [19] Jyrki T. J. Penttinen Giesecke & Devrient. The Lte-Advanced Deployment Hand Book.firstedition.2016. John Wiley & Sons, Ltd.USA
- [20] Aymen Ben Zineb, Mohamed Ayadi.2015. "A Multi-wall and Multi-frequency Indoor Path Loss Prediction Model Using Artificial Neural Networks". DOI 10.1007/s13369-015-1949-6
- [21] Indoor Pathloss.Digi.2012. Minnetonka
- [22] Jari Salo, "Mobility Parameter Planning for 3GPP LTE: Basic Concepts and Intra-Layer Mobility", 2013.
- [23] [online] <https://www.bpbatam.go.id/ini/aboutBida/location.jsp> Diakses pada 12 Desember 2017
- [24] [online] <http://www.m.batamtoday.com/berita-71652-Inilah-Dasar-dan-Sejarah-Bandara-Internasional-Hang-Nadim-Dikelola-BP-Batam.html> Diakses pada 12 Desember 2017
- [25] [online] https://cdn.tmpo.co/data/2012/08/24/id_136411/136411_620.jpg Diakses pada 12 Desember 2017
- [26] Batam Indonesia Free Zone Authority Badan Pengusahaan Kawasan Perdagangan Bebas dan Pelabuhan Bebas Batam : DEVELOPMENT PROGRESS OF BATAM. BATAM,2016
- [27] BIFZA Badan Pengusahaan Kawasan Perdagangan Bebas dan Pelabuhan Bebas Batam : DATA ALLAU TAHUN 2016. BATAM,2016

- [28] Indosat Ooredoo. Indosat Ooredoo LTE Service Strategy. 2016. Jakarta
- [29] [online] <https://inet.detik.com/telecommunication/d-3239148/ceo-indosat-ajak-xl-tri-smartfren-lawan-dominasi-telkomsel>. Diakses pada 20 Desember 2017 pukul 6.00
- [30] Huawei Technologies Co.Ltd..2010. LTE RNP Introduction. Shenzen : Huawei.

