

Analisis Perancangan Hotel BTS Pada *Mass Rapid Transport* di Surabaya

Bagas Prasetya Putra, Istas Pratomo, Gatot Kusrahardjo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: bagaspp11@gmail.com, istaspra@ee.its.ac.id, gatot-kus@ee.its.ac.id

Abstrak – Pertumbuhan pelanggan yang ada sekarang ini mengakibatkan perlunya penambahan infrastruktur Base Transceiver Station (BTS) agar mendapatkan kinerja operator yang maksimal. Pada kota-kota besar banyak mengalami kendala masalah perizinan lahan sehingga tidak memungkinkan dibangun tower base station baru. Di lain pihak, operator-operator telekomunikasi harus dapat melayani trafik dari pelanggan yang semakin banyak. Distributed Antenna System atau dikenal dengan BTS Hotel menawarkan teknologi base station yang dipusatkan pada satu lokasi yang kemudian akan melayani beberapa remote site. Pada tiap remote site tersebut akan dihubungkan langsung oleh sebuah single fiber untuk menjangkau area tersebut. Sehingga memungkinkan cakupan area base station dapat lebih luas dan menjangkau daerah yang terdapat halangan bangunan/gedung. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk merancang BTS Hotel dengan teknologi LTE pada jalur Mass Rapid Transit (MRT) di Surabaya sebagai solusi dari perluasan area dan peningkatan pelayanan dengan melakukan perencanaan capacity planning, coverage planning dan jaringan serat optik. Hal ini dilakukan untuk mengestimasi jumlah eNode B dan luas cakupan dari tiap remote site. Pada perancangan BTS Hotel dengan teknologi LTE yang telah dilakukan pada jalur tram didapatkan nilai OBQ 14,45 Mbps/Km² dan kapasitas sel 17,78 Mbps. Luas cakupan sel sebesar 1,16 Km², jumlah eNode B 24 buah, dan radius 668 m. Jaringan fiber optik yang dirancang memiliki 5 link dan telah memenuhi parameter margin daya diatas nol.

Kata Kunci – BTS Hotel, LTE, Capacity Planning, Coverage Planning

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan bertambahnya jumlah pelanggan telekomunikasi mempengaruhi kapasitas sistem jaringan seluler yang ada sekarang. Kebutuhan pelanggan telekomunikasi yang semakin bergeser kearah mobile meningkatkan permintaan akses data terutama di kota besar seperti Surabaya. Terlihat dampak dari pertumbuhan ini dengan terjadinya overload pada suatu layanan dan mengakibatkan layanan tersebut tidak sesuai dengan standar layanan yang ada. Dalam hal ini pemerintah telah memberikan target untuk operator yaitu, downlink bitrate per user mencapai 512 Kbps [1]. Untuk

mendapatkan kualitas layanan yang baik harus melakukan perluasan area jaringan seluler dengan membangun beberapa Tower BTS yang baru. Namun untuk mengatasinya pada kota-kota besar mengalami kendala pada perizinan lahan sehingga tidak memungkinkan dibangun tower BTS baru.

Surabaya sebentar lagi akan melakukan pembangunan Mass Rapid Transit (MRT). Dengan dua macam model transportasi yaitu, trem dan monorel [2]. Nantinya MRT ini akan melewati ruas-ruas yang menghubungkan CBD (Central Business District) di Surabaya. Dengan hadirnya MRT ini di kota Surabaya diharapkan dapat tercapainya kualitas layanan angkutan umum, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan memberikan alternatif pilihan angkutan umum. Untuk itu perlu dipersiapkan juga infrastruktur telekomunikasi yang baik dalam rangka mewujudkan kota Surabaya sebagai Smart City.

Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan perencanaan infrastruktur Distributed Antenna System atau dikenal dengan nama BTS Hotel. BTS Hotel dapat mengatasi masalah penambahan kapasitas layanan data yang menggunakan band frekuensi dan perluasan cakupan area BTS yang terjadi akibat terhalang gedung-gedung tinggi dan bangunan. BTS Hotel ini tidak memerlukan lahan yang luas, hanya diperlukan tiang-tiang penyangga untuk antena BTS Hotel. BTS Hotel mampu digunakan untuk teknologi GSM, UMTS, dan LTE baik untuk single operator maupun multioperator. Jaringan BTS Hotel cocok untuk digunakan pada kondisi outdoor yaitu jalan raya, jalan tol, terowongan bawah tanah dan lainnya. Untuk melakukan perencanaan akan dilakukan analisis penentuan penempatan BTS Hotel, penentuan penempatan eNode B, coverage planning, dan capacity planning. Hal ini dilakukan untuk mengestimasi jumlah pole yang dibutuhkan untuk pelanggan pada area tersebut.

II. TEORI PENUNJANG

A. *BTS Hotel*

Dalam konfigurasi jaringan seluler konvensional akan menggunakan Base Transceiver System (BTS) yang memiliki ketinggian sekitar 30 m dan memiliki lahan yang cukup luas untuk penempatannya. Di masa sekarang teknologi ini semakin sulit diimplementasikan karena lahan yang semakin sedikit dan permasalahan regulasi dari pemerintah setempat. Terlebih di kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya sulit sekali untuk mendapatkan lahan untuk BTS konvensional. Dalam praktiknya BTS

konvensional masih dibutuhkan terutama di wilayah rural / pedesaan, jalan provinsi, dengan cakupan wilayah yang sangat luas.

Sehingga muncul paradigma baru dalam jaringan seluler, yaitu umbrella term. Artinya untuk mencakup area suatu wilayah tidak harus menggunakan konfigurasi BTS konvensional. Istilah micro cell, small cell, pico cell dan femto cell ini digunakan untuk mendefinisikan luas cakupan dari pemancar yang digunakan. Secara khusus teknologi ini biasa digunakan pada daerah perkotaan dengan penduduk yang padat dan gedung perkantoran yang tinggi. Karena jika menggunakan BTS konvensional akan terjadi blank spot dimana pada daerah tersebut tidak mendapat kualitas sinyal yang baik. Dengan menggunakan micro cell misalnya operator dapat memperluas cakupan area dan menambah kapasitas jaringan pada daerah yang benar-benar membutuhkan.

Kehadiran teknologi ini juga berimbas pada hal yang lain. Perangkat BTS yang biasanya berada di bawah menara BTS sekarang bisa dikonfigurasi berada jauh dari antena pemancar. Perangkat BTS ini nantinya dapat ditaruh di "Hotel" atau gedung/ruangan, istilah ini yang kemudian disebut sebagai BTS Hotel. Untuk media transmisi antara BTS Hotel dan antena pemancar digunakan fiber optik. Dengan teknologi BTS Hotel ini maka kekurangan yang ada pada BTS konvensional bisa tertutupi dan kapasitas dan layanan jaringan seluler dapat terus meningkat.

B. Long Term Evolution (LTE)

LTE merupakan standar komunikasi nirkabel generasi ke-4 atau yang biasa disebut 4G dalam dunia telekomunikasi. Teknologi ini memiliki kelebihan untuk akses layanan data cepat untuk mobile phones dan data terminals. LTE dirilis oleh 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Teknologi LTE berdasar pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA, yaitu meningkatkan kapasitas dan kecepatan dengan menggunakan banyak core interface secara bersamaan dengan perbaikan pada core network.

Tujuan desain dari teknologi LTE yaitu untuk meningkatkan efisiensi spektrum pada jaringan. Operator memungkinkan menyediakan bandwidth yang lebih besar. Bandwidth LTE berkisar dari 1.4 MHz hingga 20 MHz.

Pada teknologi LTE menggunakan Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) untuk downlink dan Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) untuk uplink. Prinsip dasar dari transmisi dengan multi-antenna di LTE menggunakan teknologi Multiple Input Multiple Output (MIMO).

C. Karakteristik Gelombang Propagasi

Karakteristik propagasi radio sangat penting diketahui pada saat perancangan sistem jaringan akses radio, yaitu dengan mengetahui redaman yang akan terjadi sehingga dapat diprediksi luas cakupan sel yang diinginkan. Analisis tentang karakteristik kanal propagasi akan meliputi 2 hal, yaitu : Redaman propagasi, yang merupakan selisih antara daya kirim dan daya terima. Fading, yang merupakan fluktuasi daya yang sampai ke penerima.

D. Surabaya

Permasalahan utama di Kota Surabaya yaitu, ketersediaan moda transportasi publik terpadu yang masih belum dimiliki. Kebutuhan perpindahan orang di kota ini masih didominasi oleh kendaraan pribadi. Untuk layanan angkutan umum hanya terbatas pada mikrolet, bus kota, komuter, dan kereta api. Jika tidak ada tindakan secepat mungkin dalam permasalahan ini kemungkinan besar volume kendaraan pribadi semakin meningkat yang berimbas pada kemacetan di jalan raya terutama pada saat jam sibuk. Pengaturan lalu-lintas jalan yang sering dilakukan Pemkot Surabaya hanya sebuah solusi jangka pendek untuk menghadapi kemacetan karena adanya keterbatasan lahan di wilayah-wilayah Surabaya. Semakin meningkatnya volume kendaraan juga menyebabkan kondisi udara di kota ini semakin memburuk.

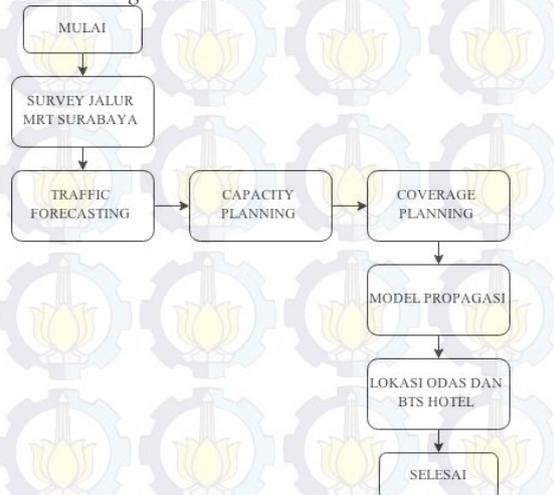
Dalam upaya mengatasi permasalahan yang telah dideskripsikan diatas maka diperlukan usaha untuk menyediakan angkutan umum publik yang berkelanjutan. Maksudnya perlu moda transportasi yang saling terintegrasi satu sama lain. Sehingga nantinya mobilitas dari penduduk Surabaya dapat mudah terlaksana dengan baik, aman dan nyaman.

Rencana transportasi di kota Surabaya telah tertuang dalam RTRW Kota Surabaya 2009-2029, adapun rencana pengembangan sistem jaringan transportasi yang terdapat di Surabaya meliputi [2].

III. PERENCANAAN SISTEM

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu merancang jaringan BTS Hotel pada jalur MRT di kota Surabaya dengan teknologi LTE. Hal ini dilakukan dengan menganalisa daerah pada jalur MRT dan menentukan titik lokasi antena yang dibutuhkan pada daerah tersebut. Sehingga akan diperoleh akses layanan yang optimal pada jalur MRT tersebut.

A. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Survey Jalur MRT Surabaya

Setelah melakukan survey dan berdasarkan rencana tata ruang Pemerintah Kota Surabaya maka dipilih pada daerah jalur tram ini untuk perencanaan Hotel BTS. Peta

jalur tram ditunjukkan pada Gambar 3.2. Beberapa faktor sehingga dipilih jalur tram antara lain:

- a. Gerbangkertosusila, kawasan metropolitan yang mencakup 7 wilayah administrasi
- b. Kawasan Strategis Ekonomi
- c. Pusat Perdagangan Jasa
- d. Kawasan Transportasi Terpadu



Gambar 2. Peta Jalur Tram (warna merah dan orange)

C. Capacity Planning

1. Traffic Forecasting

Traffic forecasting atau peramalan trafik merupakan cara agar kapasitas suatu jaringan akses dan transmisi dapat terpenuhi. Penyedia layanan jasa dapat memprediksi berapa kapasitas yang dibutuhkan hingga beberapa tahun ke depan. Dengan menggunakan data penduduk dari daerah yang dituju, laju pertumbuhan penduduk dan luas wilayah.

Untuk melakukan perencanaan maka akan menggunakan data penduduk kota Surabaya dan beberapa asumsi. Data berikut berdasarkan kondisi dari daerah yang diamati dan Badan Pusat Statistik Kota Surabaya

Tabel 1. Data 5 Kecamatan Tahun 2014

Kecamatan	Luas Kecamatan (km ²)	Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)
Tegalsari	4,29	21.787	93.465
Genteng	4,04	13.491	50.505
Bubutan	3,86	22.768	87.882
Krembangan	8,34	13.730	114.506
Pabean Cantikan	6,8	10.698	72.744
Total Luas	27,33	Total Penduduk	419.102

- a. Laju pertumbuhan penduduk kota Surabaya : 0,63 %

- b. Presentase penduduk produktif (15 – 64 tahun) : 72,11 %
- c. Asumsi Penetrasi Seluler : 70 %
- d. Asumsi Penetrasi Pengguna Operator A : 40 %
- e. Asumsi Penetrasi Pengguna Operator A LTE : 30 %
- f. Asumsi pertumbuhan penduduk hingga tahun 2020

Tabel 2. Kepadatan Pengguna Tahun 2020

Kecamatan	Pengguna Operator A	Pengguna Operator A LTE	Kepadatan Pengguna (Jiwa/km ²)
Tegalsari	22395.42561	6718.627683	1566.113679
Genteng	12101.65271	3630.495813	898.6375774
Bubutan	21057.66644	6317.299931	1636.6062
Krembangan	27437.12197	8231.136591	986.9468334
Pabean Cantikan	17430.4054	5229.12162	768.9884735
		Total	1061.565584

2. Offered Bit Quantity (OBQ)

Perhitungan OBQ diperlukan untuk mendapatkan nilai total bit throughput per km² pada jam sibuk. Penggunaan parameter OBQ dipilih karena cocok untuk digunakan dalam jaringan LTE yang membutuhkan data rate yang tinggi.

Tabel 3. OBQ Hasil Perencanaan

Service Type	OBQ		
	Building	Pedestrian	Vehicular
S	386.2564671	343.3390819	171.6695409
SM	3.08652428	1.54326214	1.028841427
SD	79.48534909	79.48534909	79.48534909
MM	1225.791071	980.6328571	19.61265714
HMM	7344.274292	2937.709717	391.6946289
HIMM	176.372816	88.18640801	141.0982528
Total OBQ	14450.75247 Kbps / Km²		

Dari perhitungan OBQ yang telah dilakukan didapatkan nilai total OBQ sebesar 14.45 Mbps / Km²

3. Kapasitas Sel

Untuk mengetahui berapa kapasitas bit dari tiap sel maka digunakan perhitungan dengan persamaan

$$C = B * \log_2 (1 + SNR)$$

Dengan asumsi bandwidth 10 MHz dan menggunakan modulasi QPSK. Sehingga didapatkan nilai kapasitas sel sebagai berikut.

$$\text{Kapasitas Sel} = 17,78 \text{ Mbps}$$

D. Coverage Planning

1. Luas Cakupan Sel

Luas cakupan sel dihitung menggunakan persamaan

$$L = \text{kapasitas sel} / \text{OBQtotal}$$

Maka didapatkan nilai luas cakupan sel sebagai berikut

$$\text{Luas Cakupan Sel} = 1.162569218 \text{ Km}^2/\text{sel}$$

2. Jumlah eNode B

Perhitungan jumlah eNode B dihitung berdasarkan parameter dari luas area perencanaan dengan luas cakupan satu sel. Daerah yang direncanakan yaitu pada jalur tram yang berada di 5 wilayah kecamatan di Surabaya. Ketujuh kecamatan ini memiliki luas 27.3 km² dan luas cakupan sel pada perhitungan sebelumnya seluas 1.162569218 Km². Sehingga didapatkan jumlah eNode B dengan menggunakan persamaan

$$\text{Jumlah Sel eNode B} = \text{Luas Wilayah} / \text{Luas Cakupan Sel}$$

Maka didapatkan sel eNode B sebanyak

$$\text{Jumlah eNode B} = 24 \text{ eNode B}$$

3. Radius Sel

Untuk mendapatkan nilai radius sel maka digunakan persamaan

$$\text{Radius} = \sqrt{\frac{\text{Luas cakupan sel}}{2,6}} \text{ (1-sectoral, omnidirectional)}$$

Maka didapatkan radius sel sebagai berikut

$$\text{Radius Sel} = 668 \text{ m}$$

E. Link Budget

Untuk mendapatkan estimasi nilai pelemahan antara User Equipment (UE) dan eNode B maka diperlukan perhitungan radio link budget. Nilai ini yang disebut dengan Maximum Allowable Path Loss (MAPL). Nilai MAPL akan dihitung untuk arah uplink dan downlink.

1. Uplink

Tabel 4. Uplink Link Budget

Uplink Link Budget	
Data rate (Kbps)	64 Kbps
Transmitter -UE	
Max Tx Power	23 dBm
Tx Antenna Gain	-5 dBi
Body Loss	0 dB
EIRP	18 dBm
Receiver - eNode B	
eNode B noise figure	2 dB
Thermal noise	-118,661496 dBm
Receiver noise	-116,661496 dBm
SINR	-7 dB
Receiver sensitivity	-123,661496
Interference margin	2 dB

Cable loss	2 dB
Rx antenna gain	18 dBi
Fast fade margin	0 dB
Soft handover again	0 dB
Maximum path loss	155,661496 dB

2. Downlink

Tabel 5. Downlink Link Budget

Downlink Link Budget	
Data rate (Kbps)	1024 Kbps
Transmitter - eNode B	
Tx Power	46 dBm
Tx antenna gain	18 dBi
Cable loss	2 dB
EIRP	62 dBm
Receiver - UE	
UE noise figure	7 dB
Thermal noise	-104,43 dB
Receiver noise floor	97,4339 dBm
SINR	-9 dB
Receiver sensitivity	-94 dBm
Interference margin	4 dB
Control channel overhead	1 dB
Rx antenna gain	0 dBi
Body loss	0 dB
Maximum path loss	151 dB

F. Model Propagasi

Model propagasi digunakan dalam perancangan Hotel BTS ini untuk memodelkan kanal yang menghubungkan antara UE dan eNode B. Dalam perencanaan ini akan dihitung empat model propagasi, yaitu model Okumura-Hata, model COST-231, model Free-Space Path Loss dan model Ericsson 9999. Penentuan model propagasi mana yang akan digunakan dilihat dari nilai path loss masing-masing dari model propagasi.

Pemodelan propagasi menggunakan data jari-jari sel pada perhitungan sebelumnya dan beberapa asumsi. Spesifikasi pemodelan propagasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter Model Propagasi

Parameter	Notasi	Nilai
Frekuensi Pembawa	fc1	900 MHz
	fc2	1800 MHz
Tinggi antena BTS	hb	15 m
Tinggi antena MS	hm	1,5 m
Jarak BTS dengan MS	d	0.668686778 Km
Jarak antar gedung	b	30 m
Lebar jalan raya	w	15 m
Sudut φ	φ	90 ⁰

Rata-rata tinggi gedung termasuk atap	hroof	20 m
---------------------------------------	-------	------

1. Model Okumura-Hata

$$L = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_B - a(h_R) + [44.9 - 6.55 \log h_B] \log d + C$$

$$a(h_R) = (1.1 \log f - 0.7)h_R - (1.56 \log f - 0.8)$$

Path Loss (900 MHz) = 124.0670 dB

Path Loss (1800 MHz) = 131.9419 dB

2. Model COST-231 Walfisch-Ikegami

$$l_p = \begin{cases} l_0 + l_{rts} + l_{msd} & l_{rts} + l_{msd} > 0 \\ l_0 & l_{rts} + l_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

$$l_0 = 32.44 + 20 \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}} + 20 \cdot \lg \frac{d}{\text{km}}$$

$$l_{cni} = \begin{cases} -10 + 0.354 \frac{\varphi}{\text{deg}} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

$$l_{msd} = l_{bdi} + k_a + k_d \cdot \lg \frac{d}{\text{km}} + k_f \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}} - 9 \cdot \lg \frac{b}{\text{m}}$$

$$l_{bdi} = \begin{cases} -18 \cdot \left(1 + \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \right) & h_{TX} > h_{roof} \\ 0 & h_{TX} < h_{roof} \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{TX} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} & d \geq 0.5 \text{km and } h_{TX} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \cdot \frac{d}{0.5 \text{km}} & d < 0.5 \text{km and } h_{TX} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_{TX} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{RX}} & h_{TX} < h_{roof} \end{cases}$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f/\text{MHz}}{925} - 1 \right) & \text{for medium sized city and suburban centers} \\ 1.5 \left(\frac{f/\text{MHz}}{925} - 1 \right) & \text{for metropolitan centers} \end{cases}$$

Path Loss (900 MHz) = 138.6007 dB

Path Loss (1800 MHz) = 154.0316 dB

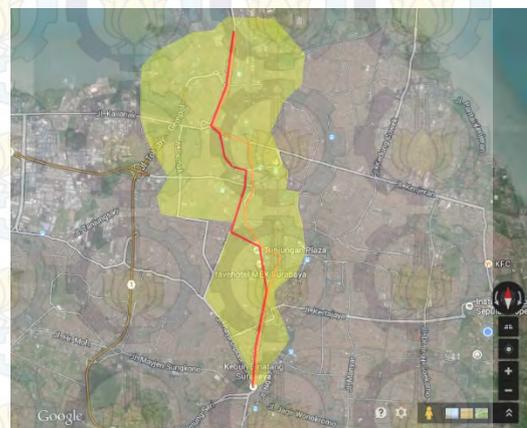
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Jalur tram di kota Surabaya berada di daerah yang padat. Karena pada jalur ini akan melewati kawasan pusat bisnis dan perdagangan. Jalur tram juga bersinggungan dengan jalan utama kota Surabaya yaitu melewati Jalan Raya Darmo, Jalan Tunjungan, Jalan Bubutan, Jalan Pahlawan, Jalan Indrapura, Jalan Rajawali, hingga Jalan Perak yang menuju kawasan Pelabuhan Perak. Terdapat 5

kecamatan yang akan dilewati jalur tram ini. Kelima kecamatan tersebut adalah Kecamatan Tegalsari, Kecamatan Genteng, Kecamatan Bubutan, Kecamatan Krembangan, dan Kecamatan Pabean Cantikan.

Dalam rencana RTRW Kota Surabaya jalur trem ini masuk dalam kawasan *Central Business District* di Surabaya. Berada dalam Kawasan Segi Empat Emas Tunjungan dan Sekitarnya.

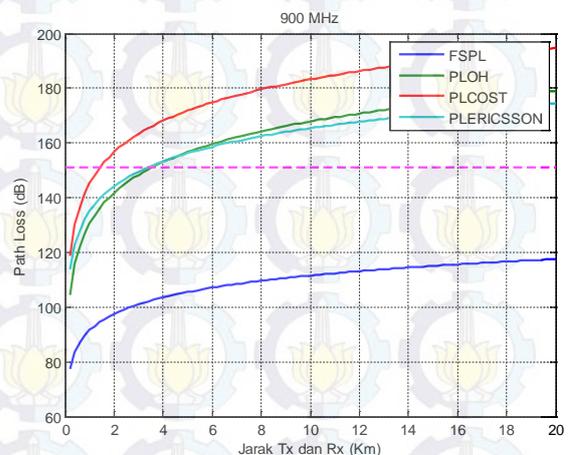
Pemilihan jalur tram untuk dipasang jaringan BTS Hotel sudah tepat. Berdasarkan data diatas menunjukkan perlu ada pengelolaan infrastruktur yang baik di wilayah jalur tram ini. Dengan membangun BTS konvensional dipastikan akan ada banyak masalah dari sisi lahan yang digunakan. Dari sisi jaringan telekomunikasi seluler perlu penerapan teknologi yang baru yaitu LTE untuk kebutuhan di masa akan datang.



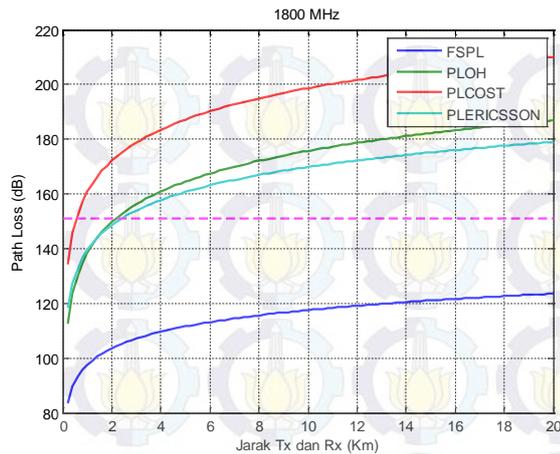
Gambar 3. Peta wilayah 5 kecamatan

Dengan kondisi perencanaan yang telah didapat, dapat diambil kesimpulan kebutuhan bit *throughput* pada jam sibuk telah terpenuhi sebesar 94.27 % dari kapasitas sel.

Masing-masing model propagasi akan memiliki nilai *path loss* sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. *Path loss* masing-masing model ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4. Path Loss Frekuensi 900 MHz dengan batas MAPL downlink



Gambar 5. Path Loss Frekuensi 1800 MHz dengan batas MAPL downlink

Sehingga model perencanaan secara keseluruhan BTS Hotel pada jalur tram ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Perancangan BTS Hotel Jalur Tram

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil penelitian untuk perencanaan dan hasil perhitungan capacity planning, coverage planning, model propagasi dan jaringan fiber optik untuk perancangan BTS Hotel pada jalur tram ini maka dapat ditarik kesimpulan.

1. Luas wilayah yang mencakup jalur tram terdiri dari lima kecamatan dengan luas sekitar 27.33 Km².
2. Hasil peramalan trafik menunjukkan jumlah penduduk pada tahun 2020 di wilayah jalur tram berjumlah 435.196 Jiwa dengan kepadatan pengguna seluler (LTE) 1062 Jiwa/Km².
3. Jalur tram memiliki panjang jalur sekitar 11 Km
4. Total bit throughput pada jam sibuk adalah 14.45 Mbps/Km².
5. Kapasitas sel dengan bandwidth 10 Mhz dan modulasi QPSK adalah 17,78 Mbps

6. Luas cakupan satu sel sebesar 1.12 Km² dengan jumlah eNode B yang dapat mencakup wilayah jalur tram sebanyak 24 buah dengan radius 668 m.
7. Model propagasi yang paling cocok untuk daerah jalur tram adalah model propagasi COST-231 Walfisch-Ikegami.
8. Model perencanaan jaringan fiber optik mendapatkan konfigurasi fiber optik memiliki lima link untuk 24 eNode B

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Konsultasi Publik White Paper Penggunaan Pita Frekuensi 2300-2360 MHz Untuk Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband)” URL:<http://www.postel.go.id/downloads/35/whitepaper1.pdf>, 2012
- [2] “Rute Monorail & Trem “ URL:http://smart.surabaya.go.id/?page_id=28, 2013
- [3] Suryana. Joko, “Hotel BTS : Technical Concept and Market Overview” Bandung
- [4] Shannon CE. “A mathematical theory of communication,” URL:<http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/paper.html>, Bell Syst.
- [5] Holma. Harri, Toskala. Antti, “LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, Finland: John Wiley & Sons, 2009
- [6] Nealfindra. Christophorus Dean, Wijayanto. Heru, dan A. Nachwan Mufti, “ANALISIS PERENCANAAN HOTEL BTS DENGAN TEKNOLOGI GSM DAN UMTS DI KOTA BANDUNG”, Bandung: 2014
- [7] Rani. M.Suneetha, Behara. Subrahmanyam VVRK, dan Suresh. K, “Comparison of Standard Propagation Model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE)”, IJAIR: 2012
- [8] RECOMMENDATION ITU-R M.1390 METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF IMT-2000 TERRESTRIAL SPECTRUM REQUIREMENTS
- [9] RECOMMENDATION ITU-T G.652 Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
- [10]http://kominfo.go.id/index.php/content/detail/3803/Kominfo%3A+LTE+Mungkin+Gunakan+Frekuensi+1.800+Mhz/0/sorotan_media#.VL8PEkeUc3Y
- [11]<http://teknologi.news.viva.co.id/news/read/577869-kebijakan-tata-ulang-1800mhz-keluar-februari>
- [12]<http://www.slideshare.net/hamdani2/day-two-planning>
- [13] Djojuroto, Muh. Rachmat, “Studi Literature Untuk Meminimalkan Tower dan BTS yang Ada di Surabaya.”, STIKOM Surabaya: 2013