

PERANCANGAN JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) DI TOL JAKARTA-CIKAMPEK *ELEVATED*

LONG TERM EVOLUTION (LTE) NETWORK PLANNING IN JAKARTA- CIKAMPEK ELEVATED TOLL

DennisaAliffaNursafiri¹, Ir.UkeKurniawanUsman,M.T², M.IrfanMaulana,S.T.,M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹dennisaaliffa@telkomuniversity.ac.id, ²ukeusman@telkomuniversity.ac.id, ³

muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pengguna kendaraan bermotor khususnya yang beroda empat yang sering melalui jalan tol rute Jakarta-Cikampek mungkin seringkali mengalami kesulitan untuk terhubung ke layanan jaringan operator seluler mereka yang kemungkinan diakibatkan oleh padatnya pengguna serta pengaruh dari kondisi kawasan yang tergolong sebagai kawasan open space. Seiring dengan meningkatnya pengguna yang melalui jalur Tol Cikampek, maka diadakan lah pembangunan jalan layang pada rute Jakarta-Cikampek sebagai bentuk antisipasi kemacetan lalu lintas. Dengan kondisi tersebut maka jumlah perangkat yang membutuhkan layanan jaringan pada daerah tersebutpun akan semakin meningkat. Maka dari itu, dalam penelitian ini akan dilakukan perencanaan jaringan di jalan layang tol Jakarta-Cikampek. Untuk melakukan perancangan jaringan pada penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan *Capacity planning* dan *Coverage planning*. Data untuk perencanaan diperoleh dari data pengguna jalur Tol Cikampek serta data penduduk daerah sekitar jalur jalan layang tol Cikampek. Kemudian, dari data yang diperoleh akan digunakan untuk perhitungan coverage serta capacity planning untuk jalan layang yang sedang dibangun. Diharapkan dengan penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian ini, kita dapat mengetahui *site* yang dibutuhkan untuk penyampaian layanan secara maksimal. Serta simulasi untuk mengetahui memastikan nilai perhitungan yang dibutuhkan untuk kawasan tersebut berdasarkan nilai SINR, *Throughput*, dan BLER nya.

Kata kunci : *Capacity Planning, Coverage Planning, Cikampek Elevated*

Abstract

Motorized vehicles user, especially those who use the four wheels, who often pass the Cikampek toll road, may often have difficulty connecting to their cellular operator network services, which may be due to the density of users and the influence of the condition of the area which is classified as open space. Along with the increase of users passing through the Cikampek Toll Road, the construction of the overpass on the Jakarta-Cikampek route was held as a form of anticipation of traffic congestion. With this condition, the number of devices requiring network services in the area will also increase. Therefore, in this research will carry out network planning for the Cikampek elevated toll area. Network planning in this research will carry out by conducting capacity planning and coverage planning. The data that will be used for the planning will be base on Cikampek toll users, also the population of the cities around Cikampek elevated toll route. Then, from the data obtained will be use for calculations in coverage and capacity planning for the elevated toll that is being built. It is hoped that, with the planning carried out in this research, we can find out the sites needed for maximum service delivery. As well as simulations to determine the required calculation values for the area based on the value of the SINR, *Throughput*, and Block Error Rate.

Keywords: *Capacity Planning, Coverage Planning, Cikampek Elevated*

1. Pendahuluan

Dalam sebuah artikel yang mengangkat hasil dari rapat Badan Regulasi Telekomunikasi Indonesia (BRTI) terdapat berapa titik krisis sinyal dengan kondisi padat pengguna. Salah satunya adalah jalur Tol Cikampek. Yang mana jalur tol ini merupakan jalur yang setiap hari nya di padati

pengguna tol, terutama di musim liburan seperti natal, tahun baru, dan lebaran. Dimana hal ini menjadi perhatian pemerintah, karena dengan meningkatnya kepadatan pengguna jalan akan meningkat pula kepadatan trafik di saluran komunikasi selular pada kawasan ini. Pemerintah kemudian melakukan pembangunan jalur tol layang untuk penanggulangan macet pada jalur tol Cikampek. Untuk itu, bentuk penanggulangan untuk kondisi jaringan nya, dalam tugas akhir ini akan dilakukan perencanaan jaringan pada sepanjang jalur cikampek *elevated* untuk *support* jaringan pada kawasan tersebut. Perencanaan untuk *Elevated toll* di Cikampek sendiri belum pernah dilakukan sebelumnya, dikarenakan tol *elevated* ini sendiri mulai dibangun pada 2017 dan direncanakan selesai pada akhir tahun 2019.

Untuk teknologi yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah teknologi 4G *Long Term Evolution*. Dimana perencanaan jaringan akan dilakukan di jalur tol cikampek *elevated* sehingga diharapkan hasil yang didapat bisa menjadi parameter untuk menangani permasalahan jaringan di kawasan tersebut.

Diharapkan dengan penelitian ini dapat ditingkatkannya kualitas sinyal terima media selular dan meningkatkan kinerja LTE di jalur tol Jakarta-Cikampek, pada KM 9 sampai dengan KM 48. dan perencanaan jaringan pada jalan layang tol Cikampek untuk menghindari dampak dari peningkatan trafik akibat bertambahnya pengguna

Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literature, pengumpulan data dan perhitungan, perencanaan dan analisa data, dan penyimpulan hasil.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Long Term Evolution (LTE)

3GPP *Long term evolution* (LTE) atau yang lebih sering dikenal sebagai LTE atau 4G LTE merupakan standar teknologi komunikasi seluler yang ditetapkan oleh *The Third Generation Partnership Project* (3GPP). Dimana penggunaan *cell* memungkinkan kapasitas dari jaringan komunikasi seluler meningkat secara drastis, dengan cara membagi *coverage area* menjadi *small cells* yang memiliki *base station* nya sendiri yang bekerja di frekuensi yang berbeda. (UMTS *LONG TERM EVOLUTION*) 4G LTE sebagai hasil pengembangan dari teknologi GSM memiliki kecepatan data rate hingga 100 Mbps pada *downlink*, 50Mbps *Uplink*, serta fleksibilitas *bandwidth* (1.4 MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz) . LTE berfungsi untuk mengembangkan arsitektur dari sisi *Radio Access Network* nya dan *System Architecture Evolution* (SAE) yang kemudian akan berfungsi untuk mengembangkan arsitektur dari *core network* nya. Pada sistem kerja LTE hasil yang didapatkan berupa *Evolved – Universal Terrestrial Radio Access* (E-UTRAN) sedangkan untuk hasil kerja SAE hasil yang didapatkan yaitu *Evolved Packet Core* (EPC). Keseluruhan sistem yang telah dikembangkan disebut dengan *Evolved Packet System* (EPS). Dimana didalam *Evolved Packet System* (EPS) terdapat tiga komponen penting yaitu UE (*User Equipment*), E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*), dan EPC (*Evolved Packet Core*) [1] [2]

Pada teknologi LTE *Radio Access Network* dan *Core Network* memiliki fungsi untuk mengurangi *Latency* jaringan, meningkatkan performansi sistem, dengan tersedianya *spectrum* yang lebih luas dan teknologi paket radio yang lebih optimal. *Radio Access Network* juga memiliki fungsi untuk modulasi, *handover* dan *header compression*. Sementara *core network* berfungsi untuk *charging* dan *mobility management*. [3] Oleh karena itu LTE mampu mendukung semua aplikasi yang ada, baik *voice*, data, video, maupun IPTV karena LTE memberikan *coverage* dan kapasitas dan layanan yang lebih besar. Dalam penerapannya LTE juga memungkinkan untuk pengeluaran biaya yang lebih rendah untuk penerapannya *disbanding* dengan teknologi-teknologi pendahulunya. LTE juga mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasi, serta LTE dapat terhubung dengan teknologi yang sudah ada. [4]

Adapun berikut penjelasan Arsitektur LTE secara umum [3]:

1. *User Equipment* (UE)

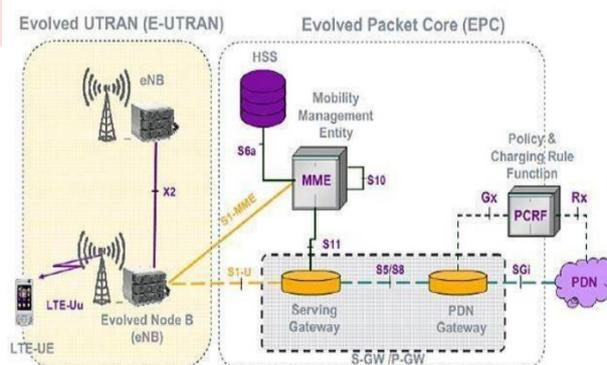
Digunakan pada teknologi GSM dan UMTS yang mendukung untuk mengakses jaringan. Berupa perangkat yang berada disisi pengguna. Hampir sama dengan *Mobile Equipment* (ME).

2. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

LTE E-UTRAN hanya menangani komunikasi radio antara *user* dengan EPC. LTE E-UTRAN memiliki komponen yang disebut dengan eNodeB yang berfungsi untuk mengatur dan mengontrol pengguna. Adapun beberapa fungsi radio E-UTRAN sebagai, adalah *Radio Resource Management, Header Compression, Security, Positioning, dan Connectivity to the EPC.*

3. Evolved Packet Core (EPC)

EPC terdiri dari 5 elemen jaringan, *Mobility Management Entity (MME), Policy and Charging Rules Function (PCRF), Home Subscriber Server (HSS), Serving Gateway (SGW), dan Packet Data Network Gateway (PDN GW/P-GW)*



Gambar 2.3 Arsitektur LTE

Dalam komunikasi data dikenal adanya *frame* yang berguna untuk mengelompokkan dan memetakan aliran data dari kanal fisik. *Frame* pada LTE memiliki durasi sepanjang 10ms. *Frame* tersebut memiliki sepuluh *sub-frame* (SF), dimana setiap 1ms nya memiliki dua slot yang dikenal sebagai *resource block* (RB). [5]

2.2 Parameter Analisis

Terdapat empat parameter dasar untuk peninjauan optimasi jaringan dalam pengukuran *Radio Resource Management* (RRM) dalam teknologi LTE. Performansi dari parameter-parameter ini akan berpengaruh terhadap kinerja jaringan. Adapun parameter-parameter tersebut ialah :

2.2.1 Throughput

Throughput pada dunia telekomunikasi merupakan jumlah bit persatuan waktu yang diterima oleh suatu terminal tertentu di dalam sebuah jaringan, dimana *throughput* memiliki satuan *bit per second* (bps). Dapat juga diartikan sebagai jumlah rata-rata bit yang diterima untuk semua terminal pada sebuah jaringan.

2.2.2 Signal to Interference Plus Noise Ratio (SINR)

SINR merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dan *noise* yang diterima oleh pengguna atau parameter yang dapat menunjukkan kualitas sinyal, tetapi SINR sendiri tidak dijabarkan dalam standard spesifikasi 3GPP dan pada jaringan nilai SINR tidak dilaporkan ke jaringan oleh UE. SINR sering digunakan oleh vendor atau operator dalam menentukan relasi antara kondisi akses radio frekuensi dengan *throughput* yang diterima oleh pengguna. Parameter ini dijadikan acuan untuk menentukan *Channel Quality Indicator* (CQI) oleh UE yang kemudian akan ditransmisikan ke eNodeB. eNodeB kemudian akan menentukan penggunaan skema modulasi dan *coding* tertentu berdasarkan informasi dari CQI. Adapun persamaan dari SINR adalah sebagai berikut :

$$SINR = \frac{P}{I+N} \quad (2.1)$$

2.2.3 Bad Coverage

Ada beberapa jenis *bad coverage* yang bisa terjadi pada jaringan eksisting. Yaitu [6]:

1. *Weak Coverage*
2. *Coverage Hole*
3. *Cross Coverage*
4. *Lack of Dominant Cell*

2.3 Capacity Planning

Capacity planning merupakan suatu perencanaan dalam membangun jaringan di suatu wilayah tertentu dengan objek berupa jumlah *user* yang di *cover* di suatu daerah. *Capacity*

Planning bertujuan untuk menentukan *site* atau antena yang dibutuhkan atau sesuai dengan jumlah *user* dengan jumlah *traffic* yang ada di gedung tersebut. Adapun berikut langkah-langkah *capavity planning* [7] [8]:

1. *User Number Estimation*
2. *Service Model Parameter*
3. *Throughput/Session*
4. *Traffic Model Parameter*
5. *Peak to Avarage Radio (PAR)*
6. *Single User Throughput (SUT)*
7. *Network Troughput for Network*
8. *Cell Capacity*
9. *Cell Avarage Throughput*
10. *Number of Site*

2.4 Coverage Planning [8]

Coverage Planning merupakan perencanaan jaringan yang bertujuan untuk menentukan jumlah *site* atau antena yang dibutuhkan untuk dapat mencakup seluruh area tanpa memikirkan *throughput* yang diterima oleh *user*. Dalam perencanaan ini ada beberapa hal yang harus dilakukan seperti perhitungan *link budget*, menentukan besar *loss* saluran pemilihan model propagasi dan menentukan perangkat yang digunakan.

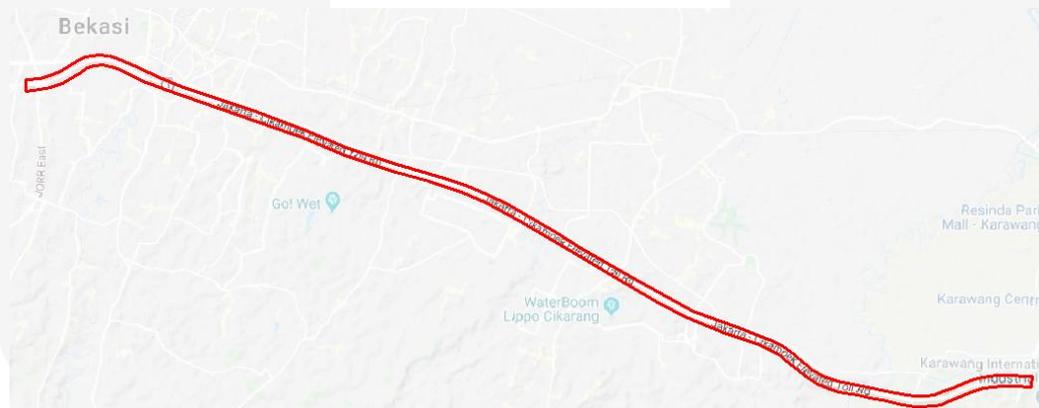
3. Perancangan Jaringan LTE di Tol Cikampek Elevated

3.1. Kondisi Tol Cikampek dan Jalan Layang Tol Cikampek

Untuk bahan studi penelitian ini, data yang digunakan merupakan data pengguna tol Jakarta-Cikampek *Elevated*. Data yang didapatkan pada jalur Jakarta-Cikampek akan dijadikan acuan untuk penghitungan *planning* untuk ruas tol Jakarta-Cikampek *Elevated*. Jalan layang ini sendiri dimulai dari simpang susun Cikunir hingga gerbang tol Karawang Barat sepanjang 39km (dari KM 9 hingga KM 48). Tol Jakarta-Cikampek *elevated* ini direncanakan selesai pada Oktober 2019 dan akan dilaksanakan uji kelayakan pada bulan November 2019, kemudian akan dibuka untuk umum pada bulan Desember 2019.

Tabel 3.1 Detail Jakarta-Cikampek *Elevated*

Mulai	Tujuan Akhir	Luas Jalur	Panjang Jalur	Ruas
Simpang susun Cikunir	Karawang Barat	4 Lajur (2 Lajur setiap arah)	38 KM	KM 9 – KM 38



Gambar 0.1 Rute Simpang susun cikunir ke Gerbang karawang Barat

3.2 Capacity Planning

3.2.1 Forecasting Jumlah Pelanggan

Pertumbuhan jumlah pelanggan tiap tahunnya mengakibatkan lonjakan trafik, sehingga untuk memprediksi jumlah pelanggan beberapa tahun kedepan dilakukanlah *forecasting*. *Forecasting* dilakukan dengan menggunakan jumlah pengguna jalur tol Cikampek yang sudah ada sebagai acuan pengguna mobil yang melintas setiap harinya untuk perhutingan.

Forecasting dilakukan dengan mempertimbangkan penduduk pada sepanjang jalur tol Cikampek KM 9 sampai dengan 49. Dimana kota besar yang dilalui sepanjang jalur tersebut adalah kota Bekasi dan Karawang. Tercatat oleh BPS kota Bekasi dihuni oleh 2.873.484 juta

penduduk dengan factor pertumbuhan sebesar 2.5% pada tahun 2018 dan penduduk kota Karawang sebanyak 2.316.489 juta penduduk dengan factor pertumbuhan sebesar 0,94%.

Dari jumlah tersebut untuk pengguna tol Cikampek diambil 33.3% dari pengguna untuk perhitungan. Dikarenakan perhitungan dilakukan hanya dari KM 9 sampai dengan KM 49 (sepanjang jalur Cikampek *Elevated*). Untuk penduduk kota Bekasi dan Karawang diambil 5% dari jumlah penduduk.

Tabel 3.3 Forecasting penumpang dan jumlah kendaraan

Jumlah Pengguna Tol Cikampek 2019	226.543.517
Jumlah Penduduk Kota Bekasi 2019	2.945.321
Jumlah Penduduk Kota Karawang 2019	2.338.264
Jumlah Pengguna + Penduduk 2023/hari	776.181
Estimasi Pengguna + Penduduk	255.277
Penetrasi Operator	151.124
Penetrasi Layanan LTE	88.258

3.2.2 Trafik dan Model Layanan

Dalam perencanaan kapasitas agar *throughput* yang dicapai maksimal, maka kita harus menentukan parameter dalam trafik dan model layanan untuk digunakan dalam perencanaan. Serta parameter model trafik yang nilainya ditentukan oleh operator dan vendor dengan pertimbangan pengembangan dan strategi pemasaran. Parameter model layanan dan trafik digunakan untuk menentukan *single user throughput* dimana *single user throughput* merupakan kecepatan minimal yang diterima oleh seorang pengguna pada jam sibuk. Pada perencanaan ini diambil dengan berdasarkan tipe daerah *Urban*.

Tabel 3.4 Hasil perhitungan *network throughput* pada daerah *dense urban*

	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
<i>Single User Throughput</i>	9,51	36,38
<i>Network Throughput (IP) (Kbps)</i>	839.228,76	3.210.563,82
<i>Network Throughput (IP) (Mbps)</i>	839,23	3.210,56
<i>Network Throughput (MAC) (Mbps)</i>	855,98	3.274,65

Setelah itu kita perlu mencari rata-rata kapasitas *throughput* pada setiap *cell* nya yang digunakan untuk kawasan *urban*. Hasil dari perhitungan tersebut dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pengguna pada satu *site*.

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan kapasitas *user* dan luas *cell*

Item	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
Wide Area (Km ²)	38	
Total Users	88258	
Network Throughput (MAC Layer) (Mbps)	855,98	3.274,65
Cell Average Throughput (Mbps)	81,79	68,16
Site Capacity (Mbps)	245,38	204,48
Number of Site	4	17
Number of Users per <i>cell</i>	22.065	5.192
Cell Coverage (Km ²)	9,50	2,24
Cell Radius (Km)	1,369	0,664
Cell Radius (Atoll) (Km)	1,10	0,54

3.3 Coverage Planning

3.3.1 Uplink Calculation

Untuk arah *uplink power receiver* digambarkan sebagai *receiver sensitivity (RS)* dari UE arah *uplink* berdasarkan persamaan 2.16.

$$RSeNodeB = -7 + 132,22 + 2,3$$

$$RSeNodeB = 127,52 \text{ dB}$$

Sehingga akan didapatkan persamaan 2.19 untuk minimum *signal reception strength (MSRS)* *uplink* adalah sebagai berikut :

$$MSRS = -127,52 + 3 + 1 - 18$$

$$= 113,52 \text{ dBm}$$

Kemudian didapat persamaan untuk MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) untuk arah *uplink* dengan perhitungan *link budget* sebesar -130,33 dB.

3.3.2 Downlink Calculation

Perhitungan arah *downlink* untuk *Equivalent Isotropic Radiated Power (EIRP) subcarrier* dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.12 :

$$EIRP_{subcarrier} = 15,21 + 18 - 3$$

$$= 30,21$$

Perhitungan *Receiver Sensitivity (SR)* arah *downlink* dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut :

$$RS_{ue} = -9 + 7 - 174 + 10 \times \log(15000)$$

$$= -134,239 \text{ dBm}$$

Sehingga akan didapatkan persamaan 2.20 untuk *Minimum signal reception strength (MSRS) downlink* adalah :

$$MSRS = -134,239 + 0 + 4$$

$$= -130,239 \text{ dBm}$$

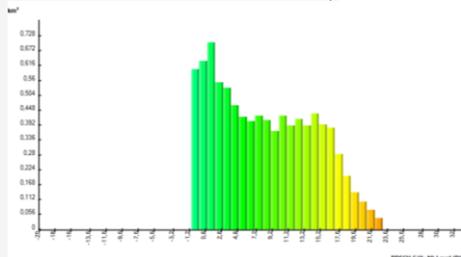
Maka untuk *link budget* pada arah *downlink* didapat MAPL sebesar 137,45 dB.

Tabel 3.6 Jumlah *site* berdasarkan per

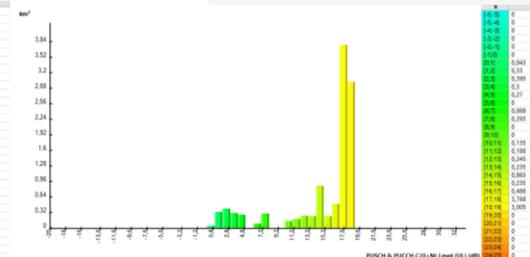
Nama Wilayah	Cikampek Elevated
Morfologi	Urban
Panjang Jalur (KM)	39
Jarak (d) (KM)	1,24
Jumlah Site	8

4. Hasil dan Analisis

4.1 Distribusi Carrier to Interference Noise



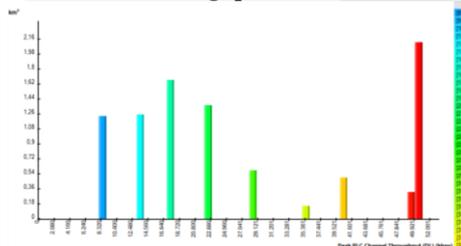
Gambar 4.1 Grafik Penyebaran sinyal pada pengguna



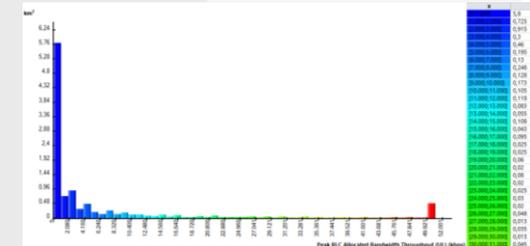
Gambar 4.2 Grafik Penyebaran sinyal di sisi *uplink*

Dapat kita lihat digambar 4.1 dan 4.2 pada sisi *downlink* nilai *Carrier to Interference Noise* yang didapatkan berkisar pada -1dB pada titik 0,6025 KM² sampai dengan 23 dB pada titik 0,0425 KM². Dengan rata-rata 8,23 dB. Pada sisi *Uplink* nilai *Carrier to Interference Noise* yang didapatkan berkisar pada 0 dB pada titik 0,043 KM² sampai dengan 19 dB pada titik 3,005 KM². Dengan rata-rata nilai *Carrier to Interference Noise* 14,95 dB. Yang mana artinya kualitas penyebaran sinyal pada kawasan ini tergolong baik.

4.2 Analisis Throughput



Gambar 4.3 Hasil *throughput* pada sisi *downlink*

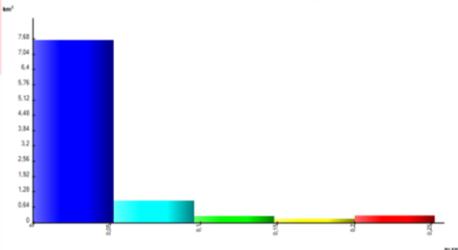


Gambar 4.4 Hasil *throughput* pada sisi *uplink*

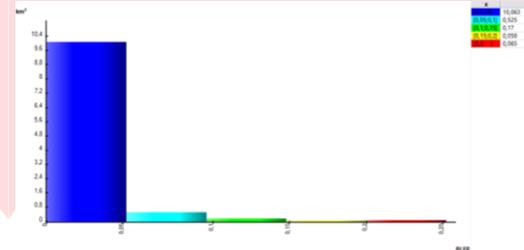
Berdasarkan dari simulasi pada sisi *downlink* semakin posisi MS mendekati pemancar maka semakin besar *throughput* nya. Dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.3 pada titik 1,23

KM² nilai throughput mencapai 8000 sampai dengan 9000 kbps. Dengan nilai tertinggi pada titik 2,123 KM² nilai *throughput* mencapai 50.000. Dengan rata-rata *throughput* di *downlink* sebesar 31.998,68 kbps. Pada sisi *uplink* berdasarkan perhitungan diprediksi nilai *throughput* yang dihasilkan tersebar merata hingga *cell edge* dari 0 kbps sampai dengan 50.000 kbps rata-rata sebesar 7.087,48 kbps. Seperti yang terlihat pada gambar 4.4 jumlah paket data yang dapat dikirim pada satu waktu beragam dan merata.

4.3 Analisa Distribusi Quality Indicator



Gambar 4.5 Nilai BLER pada sisi *downlink*



Gambar 4.6 Nilai BLER pada sisi *Uplink*

Pada sisi *downlink* nilai BLER yang didapat relatif rendah, rata-rata 0,02%. Dimana nilai BLER berpaut dari 0% hingga 0,25%. Dimana pada titik 7,63 KM² memiliki nilai BLER terendah yaitu 0% dan nilai BLER tertinggi pada titik 0,27 KM². Pada sisi *uplink* nilai BLER yang didapat relatif rendah, rata-rata 0,01%. Dimana pada titik 10,063 KM² memiliki nilai BLER terendah yaitu 0% dan nilai BLER tertinggi pada titik 0,06 KM².

5. Kesimpulan

1. Dari segi *coverage* didapatkan nilai *Maximum Allocated Path Loss* nya sebesar 137,45 dB sehingga didapatkan diameter *cell* nya sebesar 1,24 KM dan jumlah site sebanyak 8 site.
2. Dari segi kapasitas, jaringan LTE pada rute tol Cikampek *elevated* ini mampu menampung sebanyak 22.065 *users* tiap satu *site* nya dengan kapasitas *uplink* 245,38 Mbps. Dan pada *downlink* satu *site* nya mampu menampung hingga 5.192 *user* dengan kapasitas *site* 204,48 Mbps.
3. *Throughput* yang dihasilkan dalam perencanaan ini pada sisi *downlink* berkisar antara 8.000 hingga 50.000 Kbps, dengan rata nilai *throughput* yang sebesar 31.998,68 Kbps. Dan pada sisi *uplink*, *throughput* nya berkisari dari 0 kbps sampai dengan 50.000 Kbps dengan rata-rata 7.087,48 Kbps.
4. Nilai *C/(I+N)* yang didapat pada *downlink* berkisar pada angka -1 db sampai dengan 23 dB rata-ratanya sebesar 8,23 dB dan pada *uplink* berkisar pada angka 0 dB sampai dengan 19dB rata-rata nilai *C/(I+N)* yang didapat sebesar 14,95 dB.
5. Untuk *Block Error Rate* (BLER) pada sisi *downlink* rata-rata BLER nya 0,02% dan *uplink* didapat rata-rata BLER nya 0,01% yang mana nilai tersebut dapat dikatakan relatif kecil untuk kedua sisi.

Daftar Pustaka :

- [1] Febrianto, Riano. 2015. *Perencanaan Coverage Dan Capacity Jaringan Long Term Evolution (Lte) Frekuensi 700* Mhz Pada Tol Cipularang (Cikampek-Purwakarta-Padalarang) Menggunakan Metode Physical Cell Identity (PCI)*. Bandung. Telkom University.
- [2] Ariyanti, Sri. 2014, "Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel" Volume 12 (halaman 255-268). Buletin Pos dan Telekomunikasi.
- [3] Putra, Ikha. Widhi, Panji. Ifur, Abdul. 2017. "4G LTE Advance For Beginner & Consultant". Depok. Prandia Self Publishing
- [4] Salo, Jari. 2013. "Mobility Parameter Planning for 3GPPcLTE: Basic Concepts and Intra-Layer Mobility".
- [5] Usman, Uke Kurniawan. 2012. "Fundamental Teknologi Seluler LTE". Bandung. Rekayasa Sains.

- [6] Hikmaturokhman, Algin. 2014. *"4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia"*. Jakarta Selatan. Nulisbuku.
- [7] Akhundov, Ziya. *"Block Error Rate in LTE"*. 10 Januari 2020. <<http://telecompedia.net/block-error-rate-in-lte/>>
- [8] Huawei Technologies. 2012. *LTE Covarage Optimazing, Shenzeng ZTE confidential Proprietary*.
- [9] Huawei Technologies. 2013. *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*.
- [10] Huawei Technologies. 2013. *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*.
- [11] Damasso, Eraldo. Corella, Luis. 1999. *Digital Mobile Radio Towards Future Generation System*. European Commision.
- [12] ZTE Corporation. 2016. *LTE Coverage Optimization, Shenzheng: ZTE Confidential*.
- [13] Sinaga, Burton. 2016. *Perencanaan Jaringan Indoor untuk Teknologi LTE di Gedung Fakultas Ilmu Terapan Universitas Telkom*. Bandung. Telkom University.