

DESAIN JARINGAN KOMUNIKASI LTE UNTUK PENUMPANG KERETA CEPAT 140 KM/JAM JAKARTA-SURABAYA JALUR CIREBON – PEKALONGAN

DESIGN OF PASSENGER LTE NETWORK COMMUNICATIONS ON HIGH SPEED TRAIN 140 KM/H JAKARTA-SURABAYA TRACK CIREBON – PEKALONGAN

Nia Soniyanti¹, Dr. Ir. Erna Sri Sugesti, M.Sc.², Dr. Ir. Rina Pudji Astuti, M.T.³

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

¹niasoniyanti@gmail.com ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id ³rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) penggunaan kereta untuk perjalanan jauh menjadi pilihan utama untuk masyarakat karena biaya yang murah dan tepat waktu. Indonesia akan membangun sarana transportasi kereta cepat pada rute Jakarta – Surabaya dengan kecepatan 140 km/jam pada frekuensi 900 MHz. Namun, sisi negatif ketika berada di dalam kereta cepat, *delay* yang tinggi menyebabkan *packet loss* yang sangat besar. Demi menunjang kenyamanan penumpang selama melakukan komunikasi dalam perjalanan dilakukan penelitian agar terpenuhinya *Quality of Service* (QoS) pada kereta cepat dengan *delay* maksimal ≤ 40 ms.

Metode yang digunakan yaitu *coverage dan capacity planning* menggunakan *network dimensioning* dan perhitungan jarak maksimum *coverage* untuk mengakumulasi jumlah *site* serta kapasitas tiap *site* yang diperlukan dan melakukan simulasi. Untuk perhitungan *delay* total menggunakan simulator *delay*. Simulasi jaringan *microcell* LTE dengan memperhitungkan letak *eNodeB existing* dan *RRU extend* yang dikhususkan untuk jalur kereta cepat dengan memperhatikan *delay, throughput, SINR, RSRP dan overlapping*

Berdasarkan simulasi dan perhitungan diperoleh *delay* total sistem yaitu sebesar 38,6287 ms dan *delay handover* 20 ms. Nilai *overlapping* 1483 m dengan persentase *coverage* total area yang didapat yaitu 37,07%. Perancangan dengan adanya *eNodeB existing* menghasilkan RSRP -62,88 dBm, nilai SINR 8,96 dan jumlah *site* 37. Perancangan yang tidak memakai *eNodeB existing* memiliki hasil RSRP -64,81 dBm, SINR sebesar 8,74 dB dan jumlah *site* 38. Perancangan ini dikatakan layak karena memenuhi persyaratan LTE kereta cepat dimana *delay* total ≤ 40 ms dan kualitas jaringan memenuhi standar KPI Telkomsel.

Kata Kunci: *Delay, Handover, Overlapping, LTE, Kereta Cepat*

Abstract

As stated by Badan Pusat Statistik (BPS), long distance travel by train become a first choice for the community because of the safety, low cost and right on time schedule. Indonesia will build high speed train facilities on the Jakarta - Surabaya route with speed 140 km/h at 900 MHz frequency. However, there is a disadvantage when on a high speed train, high latency lead to huge packet loss. In order to provide comfort for passenger during communication, thus a research is conducted on high speed train with maximum allowed delay ≤ 40 ms.

Method that used during the research included the design of coverage areas and capacity planning using network dimensioning, which is a method for accumulating the number of sites and the capacity of each site needed. Performing simulation and calculating the total delay using a delay simulator. Simulation network of the LTE communication by taking coordinate existing eNodeB and RRU extend which are specifically for high speed train without neglecting to delay, throughput, SINR, RSRP and overlapping.

Based on the simulation and calculation, the total system delay is 38.6287 ms and the handover delay is 20 ms. The value of overlapping is 1483 m with the percentage of total coverage area obtained is 37.07%. Network design that used existing RRU produced RSRP -62.88 dBm, SINR 8.96 and amount of sites are 37. Design that did not use the existing RRU has result RSRP -63.43 dBm, SINR values of 8.74 dB and make 38 sites. This design is feasible, because it meets the requirements of LTE high speed train where total delay ≤ 40 ms and network quality meet requirements Telkomsel KPI

Keywords: *Delay, Handover, Overlapping, LTE, High Speed Train*

1. Pendahuluan

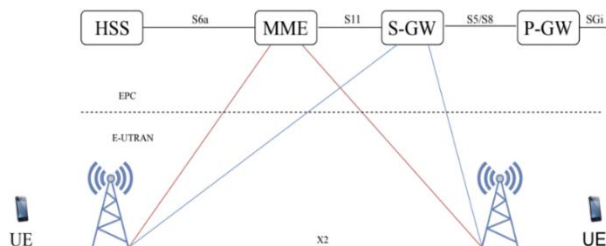
Pesatnya perkembangan transportasi pada negara maju menjadi alasan pemerintah Indonesia untuk memperbaiki sarana transportasi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) penggunaan kereta untuk perjalanan jauh menjadi pilihan utama untuk masyarakat karena biaya yang murah dan tepat waktu [1]. Pada tahun 2015 pemerintah mencanangkan pembangun kereta cepat dengan rute Jakarta – Surabaya dengan kecepatan 140 km/jam [2]. Dampak negatif dari kereta cepat adalah tidak kondusifnya komunikasi yang dilakukan dalam kereta cepat. Mendukung lancarnya komunikasi penumpang di dalam kereta maka dilakukan penelitian terkait dengan *Quality of Service (QoS)*. Mendukung komunikasi yang lancar diperlukan keseimbangan antara sinyal dan kecepatan *handover yang rendah*, dimana *delay handover* harus lebih rendah dari *delay total* sistem. Karena hal itu tingkat keberhasilan suatu eNodeB atau *Radio Remote Unit (RRU)* mengirim paket data kepada penerima harus stabil.

Mengacu pada masalah *delay* yang besar karena kecepatan *user* yang tinggi maka diambil nilai ambang batas *delay* yaitu 40 ms [3]. Untuk mencapai nilai *handover* yang dituju metode yang akan digunakan selama penelitian meliputi penggunaan frekuensi 900 MHz, perancangan *coverage area* antar RRU dengan memperhatikan eNodeB *existing* dengan menggunakan metode *network dimensioning* untuk jalur yang dilalui kereta cepat 140 km/jam, simulasi jaringan menggunakan *software* perancangan jaringan untuk peletakan RRU *extend* dan eNodeB *existing*. Simulasi *delay* dilakukan pada simulator *delay* dimana *sample* yang digunakan berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

2. Teori Penunjang

2.1 Deskripsi Sistem LTE

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi yang dikembangkan oleh 3rd *Generation Partnership Project (3GPP)* dengan harapan dapat memenuhi kebutuhan layanan *user*. Teknologi LTE menyediakan transfer data *rate* dengan kecepatan 100 Mbps untuk sisi *downlink* dan 50 Mbps untuk sisi *uplink* [4]. Perkembangan generasi ke-4 disebut dengan *Evolved Packet System (EPS)*. Jaringan pada arsitektur LTE, EPS terdapat 3 bagian diantaranya *User Equipment (UE)*, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN)* dan *Evolved Packet Core (EPC)* [4]. *System Architecture Evolution (SAE)* dikenal sebagai inti jaringan generasi keempat menurut standar 3GPP. Gambar 1 menjelaskan sebuah arsitektur jaringan LTE.



Gambar 1. Arsitektur LTE [5].

2.2 Remote Radio Unit

Remote Radio Unit (RRU) termasuk ke dalam sistem radio *Baseband Unit (BBU)*. RRU dapat berkomunikasi antar BBU melalui *physical communication link* atau *wireless communication link*. Operator seluler LTE umumnya menggunakan *Common Public Radio Interface (CPRI)* sebagai *fronthaul link* untuk komunikasi antar BBU dengan RRU [6].

2.3 Coverage Planning

Coverage planning adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan jumlah *site* yang akan dilakukan implementasi. Jumlah *site* akan mencakup keseluruhan *area* yang direncanakan. Berdasarkan perhitungan *link budget* dan model propagasi yang digunakan berdasarkan morfologi daerah [7].

2.4 Capacity Planning

Perhitungan kapasitas perlu dilakukan untuk menentukan jumlah *user* yang dapat dicakup dalam satu sel. *Capacity planning* adalah perancangan estimasi sumber yang diperlukan untuk mendukung trafik yang ditawarkan

dengan level QoS tertentu. Tujuan *capacity planning* untuk mengestimasi layanan yang dapat diakses oleh *user* terhadap lonjakan kepadatan trafik [7].

2.5 Teori Interpolasi

Interpolasi adalah proses pencarian dan perhitungan nilai suatu fungsi yang grafiknya melewati sekumpulan titik yang diberikan. Titik – titik tersebut merupakan suatu hasil eksperimen dalam mencari sebuah percobaan atau diperoleh dari suatu fungsi yang diketahui [8]. Salah satu interpolasi dapat menggunakan persamaan berikut. Permisalan Y adalah nilai *delay* pada titik tertentu dan X adalah nilai kecepatan titik tertentu.

$$Y = Y_1 + \left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1}\right)(Y_2 - Y_1) \tag{1}$$

2.6 Overlapping Area

Overlapping area adalah area pertemuan dua atau lebih suatu wilayah yang biasanya di dalam perancangan jaringan di tunjukan dalam km² atau persen (%) [9]. Persamaan berikut menunjukkan bagaimana perhitungannya. *Overlapping* (o_c) merupakan kecepatan m/s dikali dengan total *delay* sistem (t_d) yang telah diperoleh [10].

$$140_{km/jam} = \frac{140 \times 1000}{3600} = 38,89_{m/s} \tag{2}$$

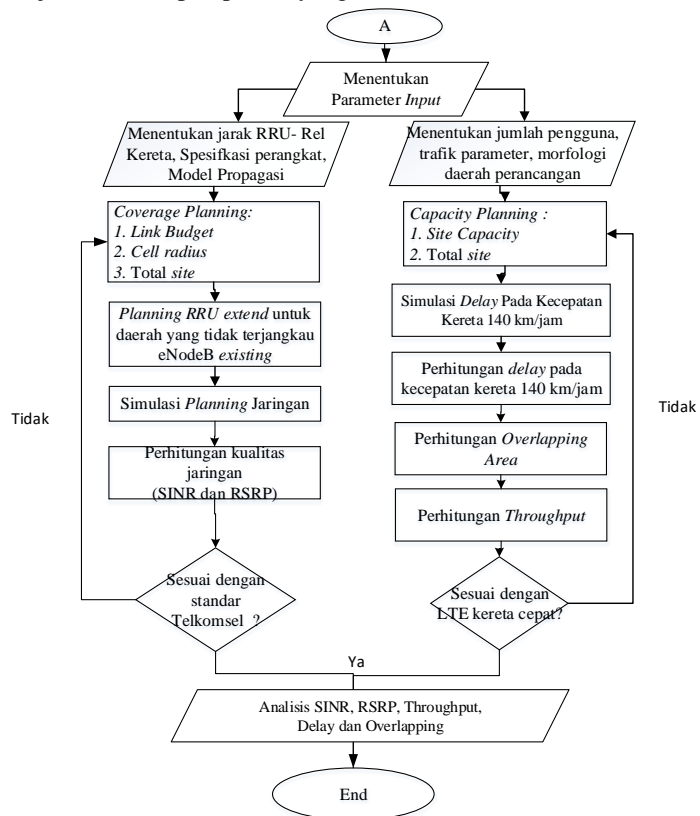
$$o_c = 38,89 \times t_d \tag{3}$$

2.7 Diagram Alir Pengerjaan

Proses perancangan ini dilakukan sesuai dengan diagram alir yang telah dibuat agar mendapatkan hasil yang ingin dicapai. Diagram alir pada perancangan ini menggambarkan langkah yang harus dilakukan saat pengerjaan dan proses perhitungan. Gambar 2 dan Gambar 3 menjelaskan tahapan proses yang dilakukan.



Gambar 2. Flowchart pengerjaan.

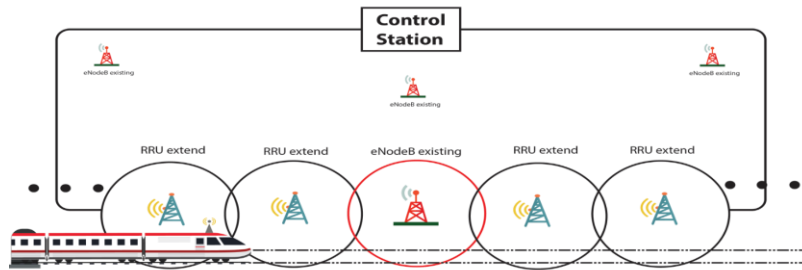


Gambar 3. Flowchart perhitungan.

2.8 Deskripsi Model Rancangan RRU

Jangkauan cakupan eNodeB *existing* sepanjang rel menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam merancang RRU *extend* agar tidak menimbulkan *blank spot* pada area jalur kereta cepat 140 km/jam m dari stasiun Cirebon – Stasiun

Pekalongan. Rancangan memperhitungkan jarak eNodeB *existing* sekitar jalur kereta yang dapat dipakai. Apabila eNodeB *existing* tidak memenuhi maka digunakan RRU *extend*. Gambar 4 merupakan model rancangan RRU *extend* yang diletakkan untuk mencakup sepanjang jalur kereta cepat 140 km/jam.



Gambar 4. Model RRU.

Diperoleh jumlah RRU dari perhitungan *coverage area*, selanjutnya dilakukan *site planning* untuk menentukan posisi penempatan RRU pada rel kereta dan letak eNodeB *existing* yang telah tersedia agar tidak terjadi interferensi. Penggunaan eNodeB *existing* terealisasi jika letaknya dengan jarak rel masih di dalam dalam sel radius yang nanti dihasilkan. Posisi penempatan RRU, hasil RSSP dan SINR disimulasikan menggunakan *software* perancangan jaringan, perhitungan *delay* trafik dan *throughput* didapatkan dengan menggunakan simulator *delay*. Dari hasil simulasi didapatkan posisi penempatan RRU yang tepat agar hasil *handover* ≤ 40 ms.

2.9 Parameter Analisis Kualitas Radio

2.9.1 Reference Signal Received Power (RSRP)

RSRP adalah sinyal LTE *power* yang diterima oleh *user*. Semakin jauh jarak antara *site* dan *user* maka semakin kecil RSRP yang diterima oleh *user* [11]. Tabel 1 menjelaskan kelompok RSRP berdasarkan kategori *Key Performance Indicator* (KPI) dari oleh Telkomsel [12].

Tabel 1. LTE RSRP [12].

RSRP (dBm)	Signal Strength
≥ -85	Excellent
$-92 \leq \text{RSRP} \leq -84$	Good
$-102 \leq \text{RSRP} \leq -91$	Fair
$-120 \leq \text{RSRP} < -102$	Poor

2.9.2 Signal to Interference Ratio (SINR)

SINR merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dan noise yang timbul (tercampur dengan sinyal utama) [11]. SINR tidak didefinisikan dalam spesifikasi 3GPP tetapi ditentukan oleh *provider*. Tabel 2 dijabarkan nilai SINR berdasarkan KPI dari Telkomsel [12].

Tabel 2. LTE SINR [12].

SINR (dB)	Signal Strength
$10 \leq \text{SINR} < 30$	Excellent
$3 \leq \text{SINR} < 10$	Good
$0 \leq \text{SINR} < 3$	Fair
$-20 \leq \text{SINR} < 0$	Poor

2.9.3 Throughput

Throughput adalah *bandwidth* sebenarnya yang diukur ketika sedang melakukan transfer data. Nilai *throughput* tergantung pada kondisi dan jaringan internet yang digunakan. Tabel 3 dijabarkan nilai *throughput* berdasarkan KPI dari Telkomsel.

Tabel 3. *Throughput* [12].

Kecepatan (Kbps)	Kualitas
≥ 12.000	Sangat Baik
$7.200 \leq \text{Throughput} < 12.000$	Baik
$1.500 \leq \text{Throughput} < 7.200$	Cukup Baik
$324 \leq \text{Throughput} < 1.500$	Cukup
< 324	Buruk

3. Pembahasan dan Hasil

3.1 Kondisi Jalur Kereta Cirebon-Pekalongan

Ditunjukkan pada Gambar 6, jalur kereta Cirebon – Pekalongan dengan panjang 150 km dari pengukuran Google map dan lebar *parallel* jalur kereta 0,15 km² dengan pengukuran *software* perancangan jaringan seperti yang. Perancangan ini memperhatikan eNodeB existing yang terdapat disekitar jalur kereta yang dilalui. Gambar 7 menunjukkan peromansi *existing* pada jalur kereta yang dilalui.



Gambar 6. Kondisi jalur Cirebon – Pekalongan.



Gambar 7. Peromansi *existing*.

3.2 Capacity Planning

Capacity planning diperlukan estimasi jumlah *user* yang akan menggunakan jaringan hasil perencanaan. *Capacity planning* adalah perancangan estimasi sumber yang diperlukan untuk mendukung trafik. Tujuan *capacity planning* untuk mengestimasi layanan yang dapat diakses oleh *user* dan lonjakan kepadatan trafik. Tabel 4 menjelaskan hasil setelah dilakukan perhitungan.

Tabel 4. Total *site capacity*.

Total Calculation	900 MHz (2 Sektoral)	
	UL	DL
Area Wide (km ²)	150	
Users (orang)	1000	
Network Througput Mac (Mbps)	5,652467419	20,07328692
Cell average througput (Mbps)	38,16	34,69
Site Capacity (Mbps)	76,32	69,38
Number of Site	7,406562098	28,93275807

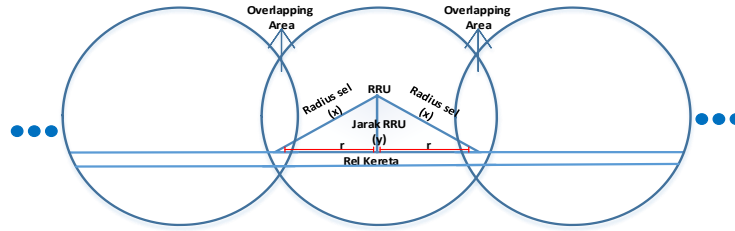
3.3 Coverage Planning

Coverage Planning diperlukan untuk mengestimasi jumlah total *site* yang akan digunakan untuk mencakup daerah yang akan dilalui oleh kereta. Tujuan dari *coverage planning* adalah untuk mengestimasi panjang cakupan area agar tidak terjadi *blankspot*. Tabel 5 menjelaskan parameter rancangan yang digunakan.

Tabel 5. Parameter *input*.

Parameter	Value
Duplex Mode	FDD
Frekuensi	900 MHz
Bandwith	10 MHz

Untuk mendapatkan jumlah total *site* dilakukan perhitungan cakupan maksimum tiap sel. Gambar 8 adalah ilustrasi yang digunakan untuk mencari jarak cakupan maksimum. Perancangan hanya menggunakan panjang wilayah, sehingga untuk total *site* yang digunakan adalah jarak terjauh cakupan.



Gambar 8. Cakupan maksimum.

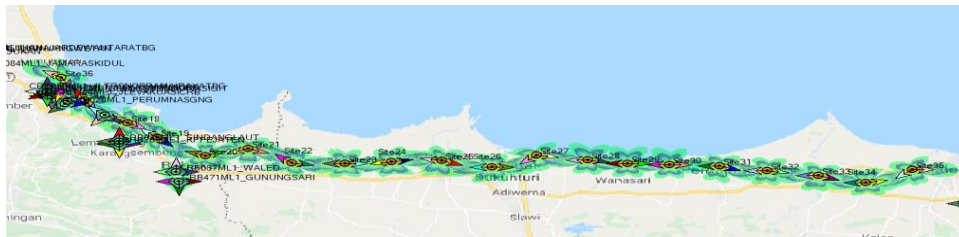
Setelah memasukan parameter yang terdapat dalam Tabel 5, dilakukan perhitungan yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 6. Nilai MAPL 127,42 dBm dengan luas *area* 150 km², maka diperoleh hasil *site* sebanyak 37. Hasil rekapitulasi *coverage* digunakan untuk membuat rancangan *site* pada simulator jaringan.

Tabel 6 Hasil rekapitulasi *coverage*.

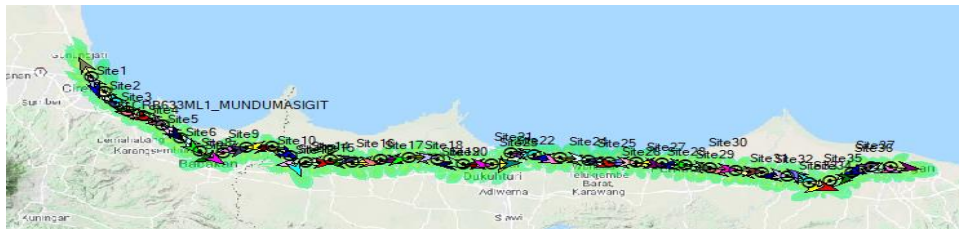
Name	Total Site Calculation
MAPL (dBm)	127,42
Luas <i>area</i> (km ²)	150
Cell coverage eNodeB (km ²) ; Cell Coverage RRU (km ²)	4,0164 ; 4,00005
Total cell (<i>site</i>)	37

3.4 Validasi Hasil Perancangan

Rancangan yang dibuat pada software perancangan jaringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dimana hasil *site* yang diperhitungkan berjumlah 37 *site*. Gambar 10 yang disimulasikan berjumlah 38 *site*, hal ini disebabkan karena ada satu *site existing*. Pemilihan *existing* yang dipakai dipengaruhi oleh jarak RRU ke jalur kereta yang akan dilalui.



Gambar 9. Hasil perhitungan.



Gambar 10. Hasil validasi.

3.5 Analisis Delay

Delay yang diperlukan dalam perancangan ini yaitu *delay* trafik yaitu *delay* yang dihasilkan *user* saat mengakses layanan dan *delay handover* yaitu *delay* yang diperlukan sistem untuk transmisi data. Gambar 11 adalah nilai *delay* simulasi pada simulator *delay*.

```

nia@nia-pc: ~/lte-sim-dev-master
nia@nia-pc:~/lte-sim-dev-master$ ./gabungan.bat
0.023423206
0.023307083
0.041903430
nia@nia-pc:~/lte-sim-dev-master$ █
    
```

Gambar 11. *Delay* trafik.

Tabel 7. Hasil interpolasi.

No.	Delay uji (ms)	Delay trafik (ms)
1.	80	41,9069
2.	40	23,2813
3.	30 (<i>extend</i>)	18,6249
4.	30 (<i>existing</i>)	18,6325

Tabel 7 tampak bahwa, setelah dilakukan perhitungan interpolasi maka diperoleh hasil *delay* trafik. Mendapatkan nilai *delay* total sistem yaitu *delay* trafik + *delay handover*. Nilai *delay handover* adalah 20 ms, berdasarkan hasil *real delay* Ericsson di lapangan. Setelah mendapatkan nilai *delay* eNodeB *existing* dan *extend* (tambahan), dilakukan pencarian nilai *delay* rata rata. Hasil *delay* sistem yang diperoleh sebagai berikut.

$$d_s = d_t + d_o \Leftrightarrow d_s = 18,62870 + 20 \Leftrightarrow d_s = 38,6287ms$$

maka didapatkan hasil *delay* sistem untuk RRU yaitu 38,624870 ms, *delay* sistem yang kecil membuat sistem jaringan yang stabil.

3.6 Overlapping Area

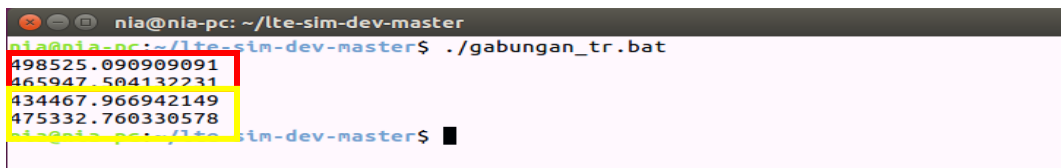
Setelah mendapatkan nilai total *delay* sistem, kemudian mencari nilai *overlapping area*. Tujuan dicari nilai *overlapping area* yaitu diketahui berapa jarak yang digunakan tiap sel untuk perpindahan *user* dari RRU yang lama menuju RRU yang baru.

$$O_c = 38,39 \times 38,6287 \Leftrightarrow O_c = 1483m$$

Perancangan ini diketahui jarak *overlapping* 1483 m setiap selnya, sehingga pada jarak 37,07% sel akan mengalami *handover* saat jarak kereta mendekati RRU lain.

3.7 Throughput

Gambar 12 adalah hasil simulasi *throughput* pengguna untuk layanan yang disediakan menggunakan simulator *delay* untuk *delay* 40 dan 80 ms pada kecepatan 120 dan 30 km/jam. Digunakan 2 nilai *delay* untuk mengetahui pengaruh *delay* terhadap kualitas *throughput*.



Gambar 12. Throughput.



Tabel 8. Hasil *throughput*.

Kecepatan (km/jam)	Throughput (Mbps)	Delay uji
140	33,3645	30 ms
140	42,5387	40 ms
140	45,8709	80 ms

Tabel 8 tampak bahwa, semakin cepat *user* bergerak dan nilai *delay* semakin tinggi maka nilai *throughput* semakin besar. Hal ini disebabkan karena pengaruh efek Doppler sehingga *throughput* yang dihasilkan menjadi semakin berkurang karena pergerakan *user*.

3.9 Analisis Validasi Perancangan

Tabel 9. Validasi perancangan.

No.	Konfigurasi sel	SINR (dB)	RSRP (dBm)	Overlapping
1.	RRU <i>extend</i> 	8,74	-63,43	37,5%
2.	RRU <i>extend</i> dan eNodeB <i>existing</i> 	8,96	-62,88	37,07%

Tabel 9 dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai RSRP dan *overlapping* maka nilai SINR semakin kecil. Apabila dipertimbangkan dari sudut pandang RSRP, rancangan RRU *extend* lebih bagus namun interferensi akan semakin meningkat karena turunnya nilai SINR. Perancangan jaringan dengan adanya eNodeB *existing* nilai SINR semakin baik tetapi nilai RSRP menurun, hal ini menyebabkan jarak dari *user* ke RRU tidak boleh terlalu jauh. RRU perancangan jaringan tanpa adanya eNodeB *existing* memiliki nilai RSRP dan SINR yang baik. Perancangan berhasil karena telah memenuhi syarat KPI *provider* Telkomsel dan telah memenuhi standar LTE untuk kereta cepat dengan nilai *delay handover* mencukupi. *Delay* total sistem bernilai 38,6287 ms dan *delay handover* 20 ms.

4. Kesimpulan

Delay yang telah disimulasikan dan dihitung dengan memperhitungkan *handover* dari sistem *vendor* bernilai 20 ms telah memenuhi persyaratan LTE untuk kereta cepat dengan nilai *delay* total sistem yaitu sebesar 38,6287 ms. Percobaan dan hasil simulasi didapatkan bahwa pada hasil RSRP dengan adanya eNodeB *existing* sebesar -62,88 dBm dan SINR sebesar 8,96 dB, sedangkan nilai RSRP pada perancangan tanpa *existing* memiliki nilai RSRP -64,81 dBm dan SINR 8,74 dB, menurut KPI Telkomsel simulasi ini telah lulus syarat. Nilai *delay* dan kecepatan *user* mempengaruhi nilai *throughput* sebab semakin besar nilai *delay* maka transfer data yang dibutuhkan akan semakin besar, sedangkan semakin cepat pergerakan *user* maka nilai *throughput* juga akan semakin kecil.

Daftar Pustaka:

- [1] B. P. Statistik, "Penumpang Pesawat Merosot Kereta Api Masih Favorit" Maret 03, 2017. Tersedia: <https://databoks.katadata.co.id>, [Diakses 27 September 2018, 19:00:58 WIB].
- [2] Wikipedia, "Kereta kecepatan tinggi di Indonesia Proposal JICA" 11 November 2018. [Online]. Tersedia: <https://id.wikipedia.org/wiki/> [Diakses 11 Mei 2019, 23:00:40 WIB].
- [3] R. He, B. Ai, G. Wang, Z. Zhong, F. Andreas, C. Briso, et al, *High Speed Railway Communications*, IEEE Vehicular Technology Magazine, pp.1556-6072, September, 2016.
- [4] F. N. Fauzyah, "Optimasi Jaringan LTE Menggunakan Metode Relay Node Untuk Mengatasi Area Bad Spot di Jalan W.R Supratman Bandung," Telkom University, Bandung, 2018.
- [5] G. Tingting, "A High-speed Railway Mobile Communication System Based on LTE," *International Conference on Electronics and Information Engineering*, 2010.
- [6] H. Niu, Remote Radio Unit (RRU) and Base Band Unit (BBU). America, USA : Paten WO2013, 2014.
- [7] N. I. M. Hamid, T. Mohammad, Md. Ashraf, *Coverage and Capacity Analysis of LTE Radio Network Planning considering Dhaka City*, International Journal of Computer Applications, Vol. 46, No. 15, pp.0957-8887, 2012.
- [8] Sahid, Pengantar Komputasi Numerik, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2004-2012.
- [9] N. Srivastava and S.S. Rappaport, *Model for Overlapping Coverage Areas in Cellular and Micro-Cellular Communication Systems*, IEEE Globecom'91, pp.26.3.1-26.3.5, December 1991.
- [10] G. Prihatmoko, A. A. Muayyadi, H. Wijanto, "Perancangan Coverage Dan Capacity Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 700 Mhz Pada Jalur Kereta Api," Universitas Telkom, Bandung, 2011.
- [11] C. W. Excellence, "LTE Metrics including RSRP, RSRQ and SINR," CableFree, 2018. Tersedia: <https://www.cablefree.net> [Diakses 06 Febuari 2019, 20:30:46 WIB].
- [12] W. Setiaji, A. A. Muayyadi, H. Wijanto, *Analisis Performansi Dan Optimasi Jaringan Long Term Evolution (LTE) Pada Wilayah Tol Padaleunyi*, e-Proceeding of Engineering, Vol. 5, No. ISSN : 2355-9365, p. 253, Maret 2018.