

PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI LTE PENUMPANG KERETA CEPAT 160
KM/JAM JAKARTA-SURABAYA
JALUR CEPU-SURABAYA

DESIGN OF LTE NETWORK COMMUNICATION FOR EXPRESS TRAIN PASSENGER
160 KM/HOURS JAKARTA-SURABAYA
TRACK OF CEPU-SURABAYA

Tomy Irawan¹, 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
¹tompilo@telkomuniversity.ac.id, ²erasugesti@telkomuniversity.co.id,
³rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kecepatan kereta menimbulkan fluktuasi *level* daya terima penumpang kereta dalam sistem komunikasi. Salah satu penyebab utama adalah terdapat area cakupan yang buruk. Efek dari hal tersebut menimbulkan kualitas jaringan komunikasi menurun.

Tugas akhir ini merancang jaringan LTE untuk penumpang pada kecepatan 160 km/jam dari stasiun Cepu ke stasiun Pasar Turi Surabaya dengan frekuensi 900 MHz. Perancangan jaringan LTE dengan *overlapping coverage* merupakan solusi dari masalah jaringan pada kereta cepat. Penggunaan *Remote Radio Unit* (RRU) dengan ketinggian penempatan sel berfokus untuk mendukung jaringan rel kereta. *Site Existing* sekitar rel kereta digunakan untuk penempatan RRU. Rancangan yang dibuat memperhatikan kecepatan *user*, *delay* trafik, serta *overlapping coverage* untuk *handover* (HO).

Hasil simulasi LTE-Sim dan perhitungan diperoleh *delay* pada kecepatan 160 km/jam sebesar 0,01850966 detik. *Overlapping coverage* setiap RRU sebesar 1,7 km untuk HO dengan dua sel mencakup rata-rata 8,5 km panjang rel kereta. Dibutuhkan tujuh RRU diletakkan di *site existing* dan 12 RRU tambahan untuk rel kereta sejauh 141 km. Simulasi dari perancangan diperoleh RSRP yakni -63,92 dBm dengan 97,1 % area berhasil tercakup dan nilai rata-rata SINR sebesar 10,77 dB.

Kata Kunci : LTE, RRU, *delay*, *handover*, *macro cell*, *overlapping coverage*

Abstract

Train speed mobility affect to fluctuations in the train passenger receiving power level signal in the communication system. One of the main causes is there is a poor coverage area. The effect of this causes made bad network quality for communication.

This final project designed an LTE network for passengers at a speed of 160 km/h from Cepu station to Pasar Turi Surabaya station with a frequency of 900 MHz. The design of the LTE network with overlapping coverage is a solution to network problems on fast trains. The use of the Remote Radio Unit (RRU) with cell placement height focuses on supporting the railroad network. Existing sites around the railroad tracks are used for RRU's cell placements. The design considered about user speed, traffic delay, and overlapping coverage for handovers (HO).

The simulation results of LTE-Sim and calculations obtained delay at a speed of 160 km/h at 0,01850966 seconds. Each RRU's overlapping coverage of 1,7 km for HO with two cells covers an average of 8,5 km of railroad length. It took seven RRUs to be placed on the existing site and 12 RRUs to add 141 km of railroads. The simulation of the design obtained RSRP value is -63,92 dBm with 97,1% of the area successfully covered and the SINR average value of 10,77 dB.

Keywords: LTE, RRU, *delay*, *handover*, *macro cell*, *overlapping coverage*

1. Pendahuluan

Penelitian ini mengenai perancangan jaringan LTE-R untuk kereta cepat 160 km/jam sehingga dapat melayani komunikasi jaringan pengguna di dalam kereta. Perancangan mendukung jaringan LTE dengan menggunakan *backbone* fiber optik yang menghubungkan antar *base station* ke RRU. Perancangan tersebut diharapkan mampu mendukung komunikasi di kereta dengan *delay* HO yang kecil.

Perancangan jaringan LTE dilakukan sepanjang rel Cepu – Surabaya dengan asumsi kondisi daerah pedesaan (*rural area*). Hal yang menjadi faktor penting dalam perancangan adalah kondisi daerah rel, *coverage area*, dan antena *macro cell* yang akan ditempatkan. Perhitungan perancangan dilakukan untuk memperoleh *coverage* yang sesuai untuk ditempatkan sepanjang rel.

Hasil perhitungan akan disimulasikan untuk memperoleh hasil dari perancangan pada kondisi daerah sepanjang rel berupa *coverage* yang diperoleh oleh setiap sel yang telah ditetapkan.

2. Dasar Teori dan Tahap Perancangan

2.1. Capacity Planning

2.2. Estimasi Pelanggan pada Kereta

Banyaknya pengguna merupakan tolak ukur dalam perencanaan, sehingga dapat diprediksi seberapa besar jaringan dapat menampung pengguna dengan berbagai macam layanan yang diakses. Sistem LTE yang menerapkan konsep *multicarrier*, mempunyai kapasitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan teknologi sebelumnya.

2.3. Throughput Layanan

Throughput merupakan akumulasi dari berbagai trafik yang diakses oleh pengguna jaringan. Setiap layanan memiliki perhitungan tersendiri tergantung nilai yang telah ditetapkan oleh operator jaringan. Perhitungan yang digunakan seperti pada persamaan 1.

$$T_s (\text{Kbit}) = S_s \text{ PPP (s)} \times S_r \text{ PPP} \times B_r (\text{kbps}) \times [1/(1 - \text{BLER})] \quad (1)$$

Keterangan :

T_s	:	<i>Throughput per Session</i>
S_t	:	Durasi setiap layanan
BLER	:	Toleransi <i>block error rate</i>
B_r	:	<i>Application Layer Bit Rate</i>
S_r	:	<i>Session Duty Ratio</i>

2.4. Single User Throughput

Parameter model layanan dan trafik digunakan untuk menentukan *single user throughput* (SUT) yang berguna untuk mengetahui kecepatan minimal yang dapat diterima oleh pengguna pada jam sibuk. Hal tersebut dilihat berdasarkan tipe daerah dari pengguna berada. Pada Tabel 1 terdapat nilai masing-masing kondisi daerah berdasarkan nilai dari *peak to average ratio*.

Tabel 1 *Peak to Average Ratio* [1]

Morfologi	<i>Dense Urban</i>	<i>Urban</i>	<i>Sub Urban</i>	<i>Rural</i>
<i>Peak to Average Ratio</i>	40%	20%	10%	0%

$$SUT = \frac{\sum T_s \times B_{HSA} \times P_R \times (1 + P_{AV})}{3600} \quad (2)$$

Keterangan :

T_s	:	<i>Throughput per Session</i>
BHSA	:	<i>Service attempt in busy hour</i>
SUT	:	<i>Single User Throughput</i>
P_R	:	Penetrasi jaringan pada tiap daerah
P_{AV}	:	Penetrasi rata-rata tiap daerah

2.5. Kapasitas Sel

Untuk mencari kapasitas sel untuk arah *downlink* (DL) menggunakan persamaan sebagai berikut [1]

$$C_{DL} + CRC = (168 - 36 - 12) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000 - 24 \quad (3)$$

Sedangkan untuk menghitung kapasitas sel untuk arah *uplink* (UL) dengan persamaan berikut [1]

$$C_{UL} + CRC = (168 - 24) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000 - 24 \quad (4)$$

Keterangan :

C_c	: Cell Capacity
CRC	: 24
168	: the number of RE in 1 ms
36	: the number of control channel RE in 1 ms
12	: the number of reference signal RE in 1 ms
C_b	: modulated bits
C_r	: channel coding rate
Nrb	: number of RBs
C	: MIMO TRY
24 (uplink)	: the number of RS RE in 1 ms

3. Coverage Planning

Perhitungan *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) untuk menentukan nilai redaman dari propagasi gelombang yang bisa diterima eNodeB dan *User Equipment* (UE) untuk berkomunikasi dengan baik pada daerah cakupannya. Berikut persamaan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) dan *receiver sensitivity* [2].

$$\text{EIRP}_{UL/DL} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} \quad (5)$$

Keterangan :

P_{TX}	: UE TX power UL/eNodeB transmitter
G_{TX}	: eNodeB gain
L_{TX}	: feeder loss UE TX UL/feeder loss DL

$$RS_{UL} = TN + NF_{eNB} + SINR + BWS \quad (6)$$

$$RS_{DL} = TN + NF_{UE} + SINR + BWS \quad (7)$$

Keterangan :

TN	: Thermal Noise	SINR	: Signal to Interference and Noise Ratio
NF_{eNB}	: eNB Noise Figure		
BWS	: System Bandwidth		
NF_{UE}	: UE Noise Figure		

Dari persamaan 5, persamaan 6 atau persamaan 7 diperoleh nilai MAPL dengan persamaan seperti berikut [2]

$$\text{MAPL}_{UL} = \text{EIRP} - R_s - I_m - F_M - L_p - L_f + G_{eNB} \quad (8)$$

$$\text{MAPL}_{DL} = \text{EIRP} - R_s - I_m - F_M - L_p - L_b + G_{UE} \quad (9)$$

Keterangan :

R_s	: Receiver Sensitivity	L_f	: Feeder Loss
I_m	: Interference Margin	L_b	: Body Loss
F_M	: Fading Margin	G_{eNB}	: UE Gain
L_p	: Penetration Loss	G_{UE}	: eNB Gain

3.1. Perhitungan Jari-jari Sel

Perencanaan dengan frekuensi 900 MHz, untuk layanan LTE digunakan model propagasi yang sesuai dengan frekuensi yang digunakan yaitu Okumura-Hata yang bekerja pada rentang frekuensi 150 MHz – 1500 MHz [3]. Model Okumura-Hata umumnya digunakan untuk kondisi *urban*, tetapi terdapat faktor koreksi untuk kondisi morfologi daerah sebagai berikut [4].

$$PL = A + B \log(d) + C_d$$

Keterangan :

$$A = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_b) - \alpha(h_m) \quad (10)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log(h_b) \quad (11)$$

$$C_{rural} = -4,78[\log(f_c)]^2 + 18,33 \log(f_c) - 40,98 \quad (12)$$

$$C_{suburban} = -2 \log\left(\frac{f_c}{28}\right)^2 - 5,4 \quad (13)$$

PL	: path loss (dB)	h_b	: tinggi eNodeB (m)
f_c	: frekuensi (MHz)	h_m	: tinggi UE (m)
d	: jari-jari sel (km)	C_d	: faktor koreksi kondisi daerah

3.2. Delay

Penelitian [5], meneliti performa dari *handover* (HO) sesuai dengan 3GPP LTE sehingga memperoleh tingkat kegagalan HO dan *delay* pada semua prosedur yang telah diteliti. Menurut teori, total *delay* untuk HO berasal dari proses *Radio Resource Control* (RRC) dan *interface X2*. Proses RRC merupakan interaksi antara eNodeB dan UE dalam penelitian menghasilkan 20 ms [5], sedangkan *interface X2* dari proses interaksi antar eNodeB. Pada penelitian tersebut telah melakukan simulasi dengan tingkat persentase *error* yang berbeda.

3.3. Overlapping Coverage

Perencanaan yang dilakukan kasus pada kereta dengan kecepatan tertentu. Perhitungan *overlapping coverage* dilakukan agar sistem perancangan tetap sesuai saat kecepatan kereta mencapai kecepatan yang diperhitungkan. Terdapat *delay* yang terjadi pada saat HO yaitu *delay* trafik dan *delay* HO yang menghasilkan *delay* sistem dari keseluruhan pengguna LTE. Berikut perhitungan masing-masing *delay* [6].

$$D_u = D_t + D_h \tag{14}$$

$$\sum D_s = \sum N \times D_u \tag{15}$$

$$O_c = v_k \times \sum D_s \tag{16}$$

$$\% O_c = \frac{d}{O_c} \times 100\% \tag{17}$$

Keterangan :

- | | | | |
|---------|--|---------|-----------------------------|
| D_u : | <i>Delay</i> rata-rata per <i>user</i> | N : | Pengguna jaringan |
| D_t : | <i>Delay</i> trafik | v_k : | Kecepatan kereta |
| D_h : | <i>Delay</i> HO | O_c : | <i>Overlapping Coverage</i> |
| D_s : | <i>Delay</i> sistem | d : | Jari-jari sel |

3.4. Konsep Interpolasi

Interpolasi linier adalah interpolasi dua buah titik dengan sebuah garis lurus. Misal diberikan dua buah titik, (x_0, y_0) dan (x_1, y_1) [7]. Berikut persamaan interpolasi antara dua nilai yang diperoleh .

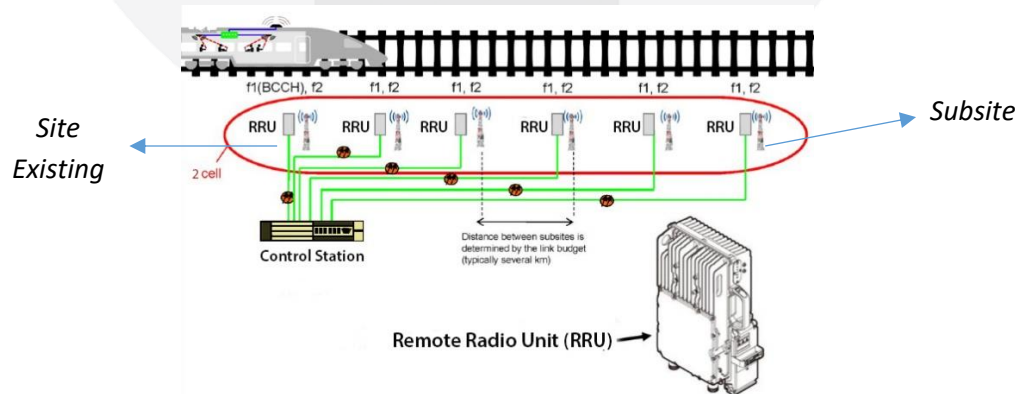
$$p_1(x) = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (x - x_1) \tag{18}$$

Keterangan :

- | | | | |
|------------|------------------------------|---------|------------------------|
| $p_1(x)$: | Nilai yang ingin diperoleh | x_2 : | Nilai percobaan X ke 2 |
| x : | Parameter yang ingin dicapai | y_1 : | Nilai percobaan Y ke 1 |
| x_1 : | Nilai percobaan X ke 1 | y_2 : | Nilai percobaan Y ke 2 |

4. Perancangan LTE

RRU sebagai pengganti eNodeB yang khusus melayani *user* pada kereta dengan memiliki dua sel. *Site existing* sebagai tempat peletakan RRU yang dekat dengan rel kereta seperti Gambar 1. RRU diletakkan sepanjang rel kereta dengan jarak yang telah diperhitungkan.



Gambar 1 Model Sistem Perancangan.

4.1. Hasil Simulasi Delay Trafik

Skema simulasi yang dilakukan dengan parameter metode *multi cell* dari LTE-Sim dengan nilai jumlah pengguna jaringan 1000 orang, jari-jari sel 3,7 km dan skema FDD. Dari simulasi yang telah dilakukan yang ditunjukkan pada Tabel 2, untuk kecepatan 160 km/jam digunakan perhitungan untuk mencari nilai *delay* dengan persamaan interpolasi setelah diperoleh *delay* pada kecepatan 30 km/jam dan 120 km/jam. Hal tersebut dilakukan karena program simulasi LTE-Sim terdapat keterbatasan program pada kecepatan mobilitas *user*.

Tabel 2 Hasil percobaan LTE-Sim

Nilai	Percobaan 1			Percobaan 2			Percobaan 3		
Max Delay (s)	0,03			0,04			0,08		
Kecepatan (km/jam)	Hasil Simulasi		Hasil Pendekatan	Hasil Simulasi		Hasil Pendekatan	Hasil Simulasi		Hasil Pendekatan
	30	120	160	30	120	160	30	120	160
Delay trafik(s)	0,0183	0,0184	0,0185	0,0226	0,0227	0,0227	0,0397	0,0395	0,0395

Dari hasil simulasi pada Tabel 2 digunakan untuk menghitung kebutuhan HO. Perhitungan menggunakan hasil dari nilai maksimum *delay* saat simulasi sebesar 0,03 detik. Hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi padatnya trafik *delay* keseluruhan sistem dari jaringan LTE. *Delay* trafik untuk perhitungan *overlapping coverage* pada kecepatan 160 km/jam sebesar 0,01850966 detik.

4.2. Overlapping Coverage RRU

Salah satu parameter untuk memperbesar *success rate* dari HO dengan melakukan perencanaan *overlapping coverage*. Hasil dari simulasi dan perhitungan diperoleh jari-jari sel. Tabel 3 merupakan perhitungan secara rinci untuk nilai besar *coverage* setiap HO yang dibutuhkan setiap *site*. Nilai panjang rel yang tercakup menggunakan perhitungan *pythagoras* yang berasal dari nilai jarak masing-masing *site* terhadap rel kereta dengan jari-jari cakupan sel terjauh ke rel kereta. Jari-jari sel diperoleh dari perhitungan MAPL yang telah dilakukan yaitu 3,7 km.

Tabel 3 Coverage sel RRU

Nama Site	Jarak site dengan rel (km)	Jari-jari Sel (km)	Jarak antena ke rel (km)	Panjang Rel yang tercakup (km)	Hasil Coverage dengan HO (km)
BJO009ML_BOJONEGORO3	0,1050	3,7921	0,1055	7,5871	8,4396
BJO014MM1_BOJONEGORO4	0,0820	3,7921	0,0826	7,5860	8,4384
BJO137MM1_PUSLITBANGP ERHUTANI	1,3990	3,7921	1,3990	8,0839	8,9363
C_BJO069MM1_DS.RINGINT UNGGALTBG	0,1820	3,7921	0,1823	7,5929	8,4454
GSK005MM1_STODUDUKSA MPEYAN	0,1100	3,7921	0,1105	7,5874	8,4398
LMG025ML_LAMONGAN4	0,1050	3,7921	0,1055	7,5871	8,4396
SBY395MM1_HOTELNIAGA VETERANMCME	0,1610	1,2410	0,1613	1,2514	2,1039
Site Uniform (Penambahan Site/RRU)	0,3063	3,7921	0,3064	7,6089	8,4614

4.3. Distribusi Site

Penambahan *site* untuk mendukung jaringan sepanjang rel kereta membutuhkan *site* baru sesuai dengan perhitungan jari-jari sel pada setiap *site*. Setiap *site* memiliki dua sel dengan kondisi daerah *rural*. Penambahan *site* baru yang dinamakan RRU disesuaikan dengan kebutuhan panjang rel kereta dicakup dengan hasil perhitungan dengan jari-jari sel seperti pada Tabel 3.



Gambar 2 Hasil perancangan *site* dari Stasiun Cepu ke Stasiun Pasar Turi Surabaya.

Perancangan memanfaatkan tujuh *site existing* dan menambah *site* baru sebanyak 12 *site* yang ditempatkan sesuai perhitungan. *Site existing* dari operator digunakan *share* eNodeB hanya untuk peletakan RRU tanpa menggunakan layanan dari operator tersebut. Total *site* untuk perancangan dari stasiun Cepu ke Stasiun Pasar Turi Surabaya sebanyak 19 *site* dengan setiap *site* terdapat 2 sel.

4.4. Hasil Simulasi Perancangan LTE

Dari hasil perancangan yang telah dilakukan telah diperoleh hasil seperti RSRP, persentase *coverage area* dan SINR. Hasil yang diperoleh disimpulkan oleh *report* Tabel 4 dengan melihat standar parameter kinerja. Daerah yang dirancang dari stasiun Cepu ke stasiun Pasar Turi sejauh ± 141 km sebagian besar berada pada daerah *rural*. Sesuai perhitungan MAPL dengan model propagasi Okumura-Hata diperoleh cakupan sel sekitar 3,7 km. Satu *site* mampu mencakup daerah rel kereta sepanjang rata-rata 8,5 km. Kebutuhan HO membutuhkan *overlapping coverage* sekitar 1,7 km untuk *planning* kecepatan 160 km/jam.

Tabel 4 Hasil Perancangan

Parameter	Hasil Simulasi dengan Ketinggian sel RRU		
	5 meter	10 meter	15 meter
RSRP (dBm)	-62	-63,92	-66,64
SINR (dB)	10,86	10,77	10,51
Coverage area (%)	96,9	97,1	97,1
Jumlah <i>site</i>	19 <i>site</i>		

5. Kesimpulan

Dari hasil yang telah dilakukan dengan simulasi dan perhitungan dari stasiun Cepu – stasiun Pasar Turi Surabaya dengan frekuensi 900 MHz dengan kecepatan 160 km/jam memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Perancangan membutuhkan 19 *site* dengan masing-masing dua sel setiap *site*. Terdapat tujuh *site existing* dan 12 *subsite* untuk penempatan sel dan RRU. Penggunaan model propagasi Okumura-Hata untuk kondisi daerah sepanjang rel menghasilkan jari-jari sel sejauh 3,79 km. Beberapa hasil penempatan sel RRU yang dihasilkan diperoleh penempatan yang sesuai pada ketinggian 10 meter. Cakupan area yang diperoleh sebesar 97,1 % dari keseluruhan perancangan lebih besar daripada ketinggian sel RRU pada 5 meter. Nilai RSRP sebesar -63,92 dBm tergolong dalam kategori baik dan nilai SINR sebesar 10,77 dB yang sudah termasuk dalam kondisi normal sesuai standar kinerja.
- *Delay* trafik yang dihasilkan sebesar 0,01850966 detik. Berdasarkan perhitungan menghasilkan kebutuhan *overlapping coverage* sebesar $\pm 1,7$ km pada jari-jari sel RRU sehingga panjang *coverage* rata-rata 8,5 km panjang rel. Penempatan sel pada setiap *site* ditempatkan sama yakni 10 meter menghadap ke rel kereta.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Shengyang and Z. Dianrong, *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*, Huawei Technologies Co., Ltd., 2013.
- [2] Huawei, *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*, Huawei Technologies Co.Ltd., 2010.
- [3] F. Setu, "KOMINFO," Pt. Kepala Biro Humas Kementerian Kominfo, 23 Januari 2019. [Online]. Available: https://www.kominfo.go.id/content/detail/16016/siaran-pers-no-19hmkominfo012019-tentang-kominfo-mulai-penataan-ulang-pita-frekuensi-radio-800-mhz-dan-900-mhz/0/siaran_pers. [Accessed 2019 Februari 2019].
- [4] Q. Hou, C. Qiu, S. He and T. Gao, "Study of 3G/4G Network Convergence Planning Scheme in High-Speed Railway," *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, no. 10, pp. 301-310, 2017.
- [5] K. Dimou, M. Wang, Y. Yang, M. Kazmi, A. Larmo, J. Pettersson, W. Muller and Y. Timner, "Handover within 3GPP LTE: Design Principles and Performance," in *Ericsson*, Stockholm, 2009.
- [6] G. Prihatkmoko, A. A. Muayyadi and H. Wijanto, "Perancangan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 700 MHz pada Jalur Kereta Api," Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2011.
- [7] R. Munir , "Interpolasi dan Regresi," in *Metode Numerik*, Informatika, 2015, p. 200.

