

ANALISIS COVERAGE DAN HANDOVER KOMUNIKASI LTE PADA KERETA CEPAT 160 KM/JAM JKT-SUB TRACK JAKARTA CIREBON

Coverage And Handover LTE Communication Analysis For Jkt-Sub High Speed Railway 160 km/hour Jakarta-Cirebon Track

Rizky Lazardy Sina¹Dr. Erna Sri Sugesti, Ir.,Msc.²Dr. Ir. Rina Pudji Astuti, M.T.³

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

¹rizkysina1@gmail.com ²ernasugesti@telkomuniversity.co.id ³rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jurnal ini mendiskusikan analisis *coverage* dan *handover* jaringan LTE untuk kereta cepat Jakarta-Surabaya. Penelitian dilakukan dengan mengadopsi teknologi LTE yang dibangun koridor rel kereta untuk mendukung kecepatan 160 km/jam pada daerah tinjauan *track* Jakarta-Cirebon. Perhitungan radius *cover* dan jarak antar *site* menggunakan frekuensi 900 MHz dengan model propagasi Okumura-Hatta. Langkah sebelumnya adalah melakukan kalkulasi *path loss uplink* dan *downlink* dengan nilai *link budget*. Besar radius adalah 1,86 km berdasarkan model propagasi yang digunakan. Dengan *wide area* 219 km² diperoleh jumlah *site uniform* sebanyak 39.

Kondisi rel yang berbeda-beda mempengaruhi jarak antara rel dengan *site existing* yang digunakan. Pada kasus tersebut perlu dilakukan validasi dengan menggunakan radius *site existing* sesungguhnya. Perhitungan validasi membutuhkan jarak *overlapped* saat kereta melakukan *handover*. Hasil simulasi X2 *handover* menggunakan NS3 diperoleh nilai rata-rata *delay transmission* data sebesar 15,14 ms. Dari nilai tersebut diperoleh jarak *overlapped* sebesar 600m. Dengan menggunakan teori *Pythagoras* diperoleh jumlah *site* sebanyak 47. Setelah melakukan simulasi menggunakan software Atoll, analisis *coverage by signal level* atau RSRP dan SINR telah memenuhi standar yang digunakan.

Kata kunci : Kereta Cepat 160 km/jam, LTE, Coverage, Handover.

Abstract

This journal discusses the analysis of the coverage and submission of the LTE network for the Jakarta-Surabaya high speed train. The research was carried out by adopting LTE technology that was built on the railway corridor to support speeds of 160 km / h in the Jakarta-Cirebon track review area.. The radius calculation includes and the distance between sites using the 900 MHz frequency with the Okumura-Hatta propagation model. The previous step is calculate the path loss uplink and downlink with the value of the link budget. Value of radius cover is 1.86 km based on the propagation model used. With wide area of 219 km², there were 39 uniform sites.

Different rail conditions differ between rails and existing sites used. In this case, validation is needed by using the existing site radius. Validation calculations require overlapping distances when delivering trains. The X2 handover simulation results using NS3 obtained an average value of data transmission delay of 15.14 ms. From this value overlapping distance of 600m is obtained. By using Pythagoras theory, there are 47 sites. After calculating using software Atoll, analysis of coverage with signal level or RSRP and SINR has obtained the standard used.

Keywords: High Speed Railway 160 km/jam, LTE, Coverage, Handover.

1. Pendahuluan

Data menunjukkan penggunaan kereta api saat ini berkembang secara sangat pesat. PT kereta Api Indonesia mencatat sebanyak 398 juta penumpang menggunakan kereta api sepanjang tahun 2017[1]. Jumlah tersebut meningkat 16% dari tahun sebelumnya. Transportasi kereta api yang memungkinkan penumpang tetap dapat melakukan komunikasi membuat jumlah penumpang semakin meningkat. Banyak penumpang antusias menggunakan layanan *mobile* diperjalanan dengan laptop dan ponsel. Banyak pekerja yang saat ini dapat melakukan pekerjaannya dari luar kantor, terus bekerja walaupun sedang dalam perjalanan memungkinkan waktu dikonversi menjadi jam kerja produktif.

Salah satu *rute* kereta yang sangat pesat perkembangannya adalah *rute* Jakarta-Surabaya, ditambah lagi saat ini pembangunan proyek kereta cepat Jakarta-Surabaya akan segera diselesaikan pada tahun 2019 membuat jumlah penumpang dan kebutuhan komunikasi internet akan semakin meningkat[2]. Namun hal tersebut tidak sebanding dengan ketersediaan layanan komunikasi yang mendukung disepanjang rel kereta. Kebutuhan layanan internet sulit dilakukan disebabkan belum adanya teknologi yang secara efisien mendukung layanan transfer data cepat pada transportasi berkecepatan tinggi seperti kereta api di Indonesia.

Negara lain seperti Korea Selatan telah menerapkan teknologi yang dapat mendukung komunikasi pada kereta api cepat 250 km/jam. Pada moda transportasi tersebut teknologi yang digunakan adalah LTE yang dibangun di koridor rel[3].

Teknologi LTE mampu mendukung layanan *wireless* bagi penumpang kereta. Perancangan dilakukan pada daerah tinjauan rel korea api Jakarta-Cirebon sejauh 219 km, metode *coverage planning* digunakan untuk menghitung kebutuhan RRU, jarak antar *site* dan luas *coverage cell*.

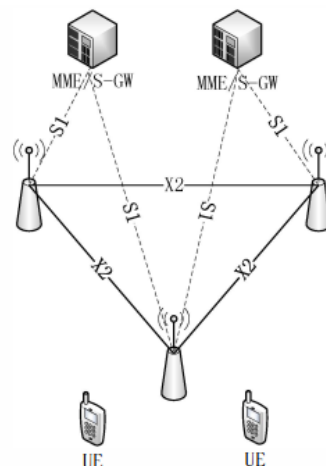
Frekuensi *band* yang digunakan adalah 900 MHz metode *Frequency Division Duplexing* dengan *bandwidth* 20 Mhz. berdasarkan 3GPP LTE standar, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan untuk memperoleh desain jaringan yang efektif khususnya pada sisi *coverage*. Aspek tersebut adalah RSRP, SINR, *handover success rate* dan data *transmission delay*.

2. Teori Penunjang

2.1 LTE

Long Term Evolution (LTE) adalah perkembangan dari layanan seluler 3G[1]. LTE didasarkan pada standar yang dikembangkan oleh 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP). LTE juga dapat disebut secara formal sebagai *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access* (E-UTRA) dan *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN). Teknologi ini mampu memberikan kecepatan akses data hingga mencapai 300 Mbps untuk *downlink* dan 75 Mbps untuk *uplink*. Jaringan LTE menjadi penghubung fungsional pertukaran data antara *very high data rate fixed wireless Local Area Network* (LAN) dan *very high mobility cellular networks*. LTE biasanya dibangun sebagai *overlay* pada jaringan *existing* atau beroperasi secara terpisah. Pada jaringan *existing* LTE menerapkan *full mobility* sedangkan untuk area yang belum memiliki infrastruktur *existing*, LTE merupakan solusi *low-cost* yang menawarkan *voice* dan kualitas data DSL untuk pengguna. LTE juga didesain untuk melengkapi sistem *wireless existing*. [4]

Contoh arsitektur LTE secara umum digambarkan pada gambar 1. E-UTRAN terdiri dari enodeb, menyediakan *user plane* E-UTRA dan terminasi protokol *control plane* terhadap UE. Setiap enodeb terhubung satu sama lain dengan menggunakan interface X2, enodeb juga terhubung menggunakan interface S1 ke Evolved Packet Core (EPC), secara spesifik ke *Mobility Management Entity* (MME) menggunakan S1-MME dan ke *Serving Gateway* (S-GW) menggunakan S1-U.[5]

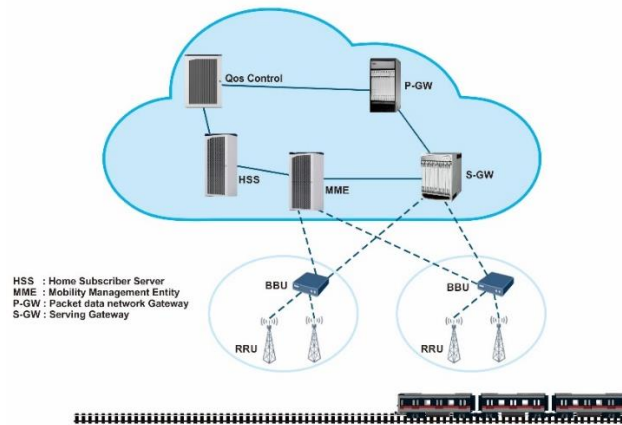


Gambar 1 Arsitektur umum LTE[5].

2.2 LTE For Railway

Long Term Evolution Railway (LTE-R) adalah teknologi versi 4G LTE untuk jasa angkutan kereta api yang dibangun di koridor rel. Teknologi ini menggantikan teknologi GSM-R yang memungkinkan komunikasi jaringan LTE untuk kereta api dengan kecepatan hingga 500km/jam. LTE-R memberikan transmisi yang lebih baik untuk komunikasi kereta cepat dengan penggunaan frekuensi dan spektrum yang tepat. Sebagai generasi terbaru untuk komunikasi kereta cepat, LTE-R mengadopsi seluruh fitur penting LTE yaitu jaringan EPC dan jaringan radio akses serta menyediakan sistem akses radio tambahan untuk bertukar sinyal nirkabel dengan *On Board Unit* (OBU).[6]

Secara umum arsitektur jaringan LTE *for railway* sama dengan jaringan LTE, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2[6]. Jaringan LTE-R mengadopsi mode *narrow strip coverage* dan membangun struktur RRU dan BBU. Setiap *base station* ditambahkan perangkat RRU yang dibangun dengan antena *directional* untuk mentransmisikan sinyal RF ke kereta disepanjang *track*[7]. RRU merupakan sebuah perangkat *radio base station* sistem yang berhubungan langsung dengan BBU. RRU akan berhubungan langsung dengan OBU pada kereta melalui sebuah *interface* udara yang dipancarkan oleh suatu beban yaitu antena. RRU pada umumnya berfungsi mengubah sinyal optik menjadi sinyal radio pada bagian *downlink*, kemudian mengirimkan sinyal RF ke antena. Pada sisi *uplink* sinyal RF akan diubah menjadi sinyal optik dan kemudian ditransmisikan melalui serat optik hingga sampai ke BBU[8].

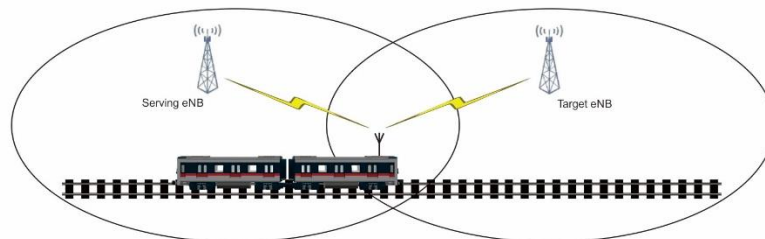


Gambar 2 Arsitektur LTE for railway[6].

Kombinasi sel digunakan pada jaringan LTE *for railway*, yaitu dikombinasikan beberapa RRU pada *big narrow-strip-shaped* sel via fiber optik. RRU ini akan dikontrol oleh BBU yang bertanggung jawab memproses sinyal RF. Karena struktur seperti itu, seluruh jaringan diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu area *nonoverlapped* dan *overlapped coverage*. Di area *nonoverlapped coverage*, hanya satu sinyal dari satu BS yang diterima, yang dapat dianggap sebagai *single-link channel*. Namun, di area *overlapped coverage*, dua sinyal yang sama dari BS tetangga tiba di penerima secara bersamaan. Dari perspektif domain *delay*, kedua sinyal ini dapat dibedakan berdasarkan *delay* propagasi yang berbeda dengan melakukan validasi[7].

2.3 X2 Handover LTE

Handover adalah proses perpindahan UE dari satu enodeb ke enodeb yang lain. Pada LTE terdapat 2 *handover* yaitu X2 dan S1[9]. Sistem arsitektur LTE secara keseluruhan dijelaskan pada gambar 2 Jaringan LTE terdiri dari enodeb yang dihubungkan dengan X2 *interfaces* yang terhubung ke EPC, MME, S-GW melalui S1 *interfaces*. UE terhubung langsung ke enodeb[10].



Gambar 1 Skenario X2 handover LTE for railway[11]

Secara umum terdapat 3 jenis *handover* yaitu *handover* antar *single* enodeb (*intra-enodeb handover*), antar beberapa enodeb dengan MME/S-GW yang sama (*intra-MME handover*), dan antar beberapa enodeb dengan MME yang berbeda[10]. sistem LTE-R mengadopsi sistem arsitektur *dual-layer*[10].

User secara langsung berkomunikasi dengan *Access Point* (AP) yang di letakan pada posisi tertentu. Semua AP akan dikontrol oleh sebuah server. Data yang dikumpulkan melalui AP kemudian akan dikirimkan ke enodeb via server. Server dapat menggunakan RF antenna untuk menyampaikan data[11].

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dalam arsitektur *dual layer server* bertindak sebagai *single user* untuk melakukan *handover* dari *servicing* enodeb ke target enodeb, yang akan mengurangi *overhead handover* dibandingkan dengan skema LTE standar dimana semua pengguna ponsel aktif didalam kereta melakukan *handover* secara bersamaan[11].

Handover memiliki nilai *latency* yang menjadi salah satu parameter yang dapat dilihat untuk menentukan kualitas jaringan LTE. *Handover latency* merupakan *delay* yang terjadi akibat proses *handover* yakni waktu yang terhitung sejak paket terakhir dari *route* pengiriman paket lama hingga paket pertama diterima oleh *mobile node* dari *route* pengiriman paket baru setelah *handover*[12].

Latency bisa dikurangi secara signifikan dalam sistem LTE, karena adanya *Radio Resource Control* (RRC) dilaksanakan dengan cara didistribusikan secara langsung tanpa melalui *central control entity*. RRC berfungsi sebagai transmisi dan akuisisi sistem informasi, mobilitas dan konfigurasi. RRC mendukung *handover* dengan *interface* X2[12].

2.4 Coverage Planning

Coverage planning merupakan langkah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter input jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain[13]. *Coverage planning* digunakan untuk memperkirakan jumlah *site* yang akan di implementasikan yang dapat mencakup keseluruhan area yang telah direncanakan berdasarkan perhitungan *link budget* dan model propagasi yang akan digunakan untuk perencanaan LTE pada rel kereta api cepat berdasarkan cakupan wilayah[14].

Link budget mempunyai peran penting untuk analisis *coverage* bagi jaringan komunikasi *mobile* untuk kereta api cepat karena digunakan untuk perencanaan jaringan optimasi dan pemeliharaan. Perhitungan *link budget* bertujuan untuk medaparkat nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL). MAPL adalah nilai maksimum *path loss* atau pelemahan sinyal yang diperbolehkan antara penumpang kereta dengan RRU bagi arah *uplink* maupun *downlink*. Nilai MAPL akan memungkinkan penumpang kereta tetap dapat mengakses jaringan meskipun mengalami pelemahan sinyal[15].

Model propagasi digunakan untuk menghitung jari-jari sektor dan dapat diketahui dengan memasukan nilai MAPL yang akan dihitung ke dalam model propagasi yang digunakan. Pemilihan model propagasi berpengaruh pada kondisi disekitar *site* yang akan dirancang[15].

Model propagasi pada umumnya digunakan untuk daerah urban dan suburban. Model ini biasanya digunakan untuk *macro cell coverage planning*. Model ini merupakan kombinasi dari penemu Okumura dan Hata. Model propagasi ini digunakan untuk rentang frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz. jarak dari *base station* memiliki rentang 1 km sampai 20 km. Nilai MAPL dihitung menggunakan persamaan 2.1 berikut[16].

$$MAPL = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - \alpha(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + CM \quad (2.1)$$

Keterangan:

MAPL : *Path loss* pada area urban (dB)

f_c : Frekuensi kerja (MHz)

h_{te} : Tinggi antena efektif RRU (m)

$\alpha(h_{re})$: Faktor koreksi tinggi antena

h_{re} : tinggi antena terminal (m)

d : Jarak horisontal antara antena RRU dan antena terminal (km)

CM : Faktor koreksi untuk kota besar atau urban (3dB)

Faktor koreksi tinggi antena dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 penggunaan persamaan berdasarkan jenis daerah yang dilewati oleh rel kereta[16].

$$\alpha(h_{re}) = \begin{cases} (1,11 \log f_c - 0,7) h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) & \text{small and medium cities} \\ (8,29 \log 1,54 h_{re})^2 - 1,1 \log (f_c \leq 300 \text{ MHz}) & \text{big cities and suburban rural} \\ (1,11 \log f_c - 0,7) h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) & \text{big cities and suburban rural} \end{cases} \quad (2.2)$$

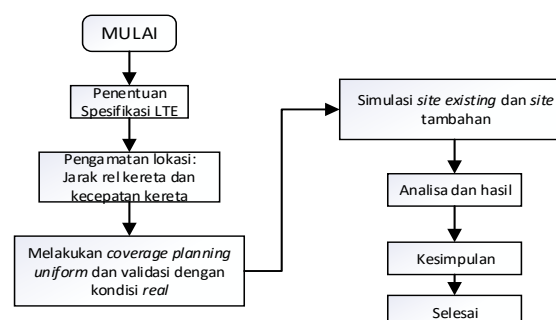
Perhitungan luas sel dengan penggunaan antena *sectoral* dan jumlah *site* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4[10].

$$\text{Luas sel} = 1,73 \times d^2 \quad (2.3)$$

$$\text{Total Site} = \frac{\text{luas area}}{\text{luas sel}} \quad (2.4)$$

2.5 Diagram Alir Penelitian

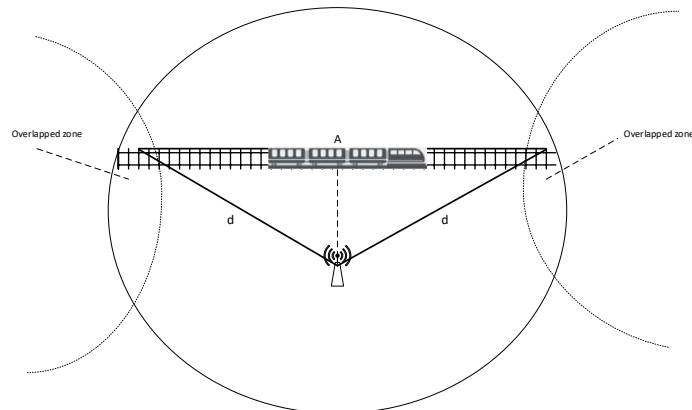
Penelitian ini dilakukan secara bertahap agar dapat diperoleh hasil analisis yang baik. Tahapan proses pengerjaan penelitian digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 4. Hasil yang diperoleh adalah jumlah *site* yang efektif yang sesuai untuk skenario rel kereta dengan nilai RSRP dan SINR yang ada pada *range* nilai baik dengan persentase *coverage* yang tepat.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

2.6 Skenario Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan penentuan frekuensi yang sesuai dengan desain jaringan seluler untuk kereta api. Frekuensi yang digunakan adalah 900 MHz. Dengan penggunaan frekuensi tersebut operator yang dipilih adalah telkomsel dan *bandwidth* yang digunakan adalah 20 MHz dengan model propagasi Okumura-Hatta. Untuk menghitung luas *coverage* digunakan 2 proses yang pertama adalah *coverage planning* secara *uniform* dan yang kedua adalah melakukan validasi berdasarkan kondisi *real* daerah rel kereta. Dengan perhitungan nilai *link budget downlink* diperoleh hasil *path loss* sebesar -130,81 dB. Dari nilai *path loss*, dengan penggunaan rumus model propagasi Okumura-Hatta nilai radius sel adalah 1,805861 km.



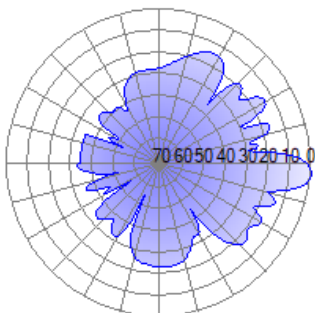
Gambar 3 coverage real condition

Berdasarkan kondisi *real* rel kereta dengan memperhitungkan *site existing* yang digunakan dilakukan proses validasi dengan menghitung luas *coverage* dengan skenario yang kedua. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 *coverage* orientasi yang digunakan adalah panjang rel dengan memperhitungkan jarak *overlapped* antar sel. Jarak *overlapped* akan dihitung menggunakan *delay transmission* yang diperoleh dengan melakukan simulasi X2 *handover* pada Software NS3 menggunakan parameter yang ditunjukkan pada tabel 1.

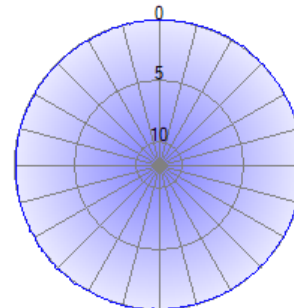
Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Number of Enodeb	2 buah
Bearer	1
Kecepatan	160 km/jam (44,4 m/s)
Trasmitter (Tx) Power	-RRU: 46 dBm -Mobile: 23 dBm
Noise Figure	-RRU: 2,3 dB -Mobile: 7 dB
Hysteresis	3 dB

Analisa *coverage* dilakukan menggunakan *Software Atoll*. Desain antenna yang digunakan untuk *transmitting* adalah antenna *sector* untuk area terbuka dan antenna *omnidirectional* untuk area Gedung. Antena seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5 dengan *gain* 17 dBi, *power* 46 dBm dan 65° *beamwidth*. Antena diletakkan pada *base station* pada ketinggian 25m. Antena omni diimplementasikan pada daerah rel dari stasiun gambir sampai Stasiun Bekasi sedangkan untuk sisa area rel sampai Stasiun Cirebon menggunakan antenna *sector*.



Gambar 4 Antena Sector Area Terbuka



Gambar 5 Antena Omni Area Gedung

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Simulasi Handover dan Kebutuhan Overlapped

Simulasi *handover* menggunakan *software* NS3 untuk melihat pengaruh kecepatan kereta 160 km/jam atau dikonversi menjadi 44,4 m/s diperoleh hasil *delay* rata-rata sebesar 0,0151475s atau 15,14ms. Simulasi dilakukan dengan menggunakan 1 UE. Dengan menggunakan nilai *delay* tersebut jarak *overlapped zone* sebesar 600m.

Tabel 2 Kebutuhan Jarak Overlapped

Nama	Nilai
Delay Rata-Rata Per User (detik)	0,0151417
Jumlah Penumpang	1000
Kecepatan Kereta (m/s)	44,4
Total Delay (detik)	15.1417
Jarak Overlapped Zone (meter)	672.29148

3.1 Analisa Hasil Coverage Planning

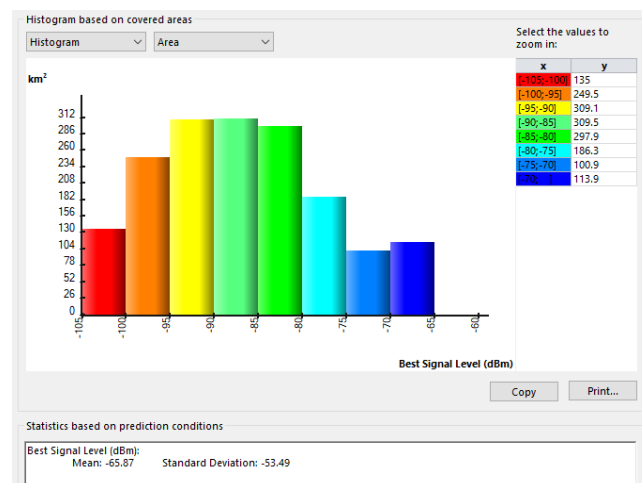
Coverage planning menggunakan model propagasi COST231-Hata model suburban. Penggunaan frekuensi 900 MHz dan *bandwidth* 20 MHz diperoleh *path loss downlink* sebesar -130,81 dB. Dari *link budget* $\alpha(h_{re})$ diperoleh jarak horizontal antara antenna RRU dengan terminal sebesar 1,805861 km. Dari nilai tersebut dapat dihitung jumlah site efektif untuk *coverage* rel Jakarta-Cirebon. Berdasarkan hasil perhitungan dengan penggunaan 2 sektor dan luas area *coverage* 219 km² diperoleh jumlah *site* sebanyak 39 saat kondisi *uniform*.

Penggunaan 2 *sector* pada satu *site* dengan 1 buah BBU yang akan dihubungkan dengan kabel optik. Pada kondisi *real site existing* yang digunakan memiliki jarak d yang berbeda-beda dan tidak sama dengan perhitungan secara *uniform*. Kondisi *site existing* yang berbeda-beda menyebabkan perlu dilakukan validasi. Validasi dilakukan dengan perhitungan luas *coverage cell* berdasarkan kondisi *real site* dengan *overlapped coverage* sebesar 600m. Kondisi *real* yang terjadi dijelaskan pada gambar 3.

Perhitungan dengan menggunakan kondisi *real* menggunakan 18 *site* tambahan. Total area yang tercover oleh *site existing* adalah 64.22971998 km. Sisa *track* yang membutuhkan *site* tambahan adalah 154.77028 km sehingga diperlukan 29 *site* tambahan untuk mengcover sisa area tersebut. Total *site* secara keseluruhan adalah 47 *site*.

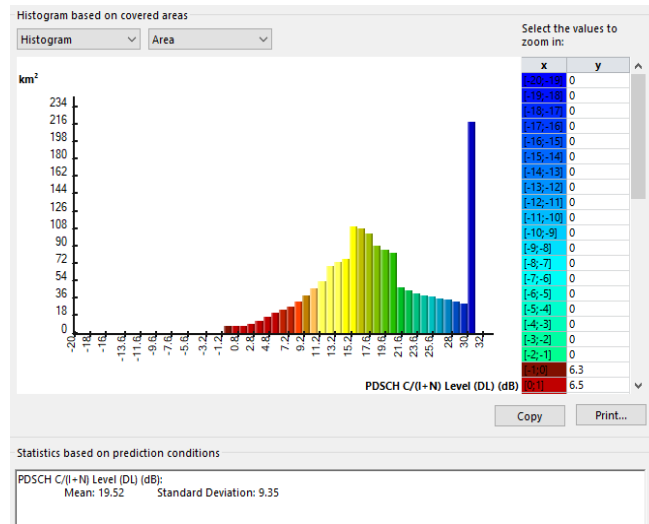
3.3 Analisa Coverage By Signal Level dan C/(I+N)

Dari *prediction calculation* yang dilakukan menggunakan *software* atoll diperoleh hasil RSRP -65,87 dBm dengan persentase area yang tercover adalah 98%. Hasil kalkulasi RSRP ditunjukkan pada gambar grafik 4.2. Area tercover dengan kondisi terbaik pada rentang nilai RSRP -70 dBm sampai -65 dBm sebanyak 52% dan kondisi terburuk pada rentang nilai RSRP -105 dBm sampai -100 dBm sebanyak 61% adalah area *cover* terjauh oleh RRU.



Gambar 6 Grafik Distribusi RSRP Jalur Kereta Jakarta-Cirebon

Setelah melakukan simulasi $C/(I+N)$ maka diperoleh kesimpulan nilai rata-rata $C/(I+N)$. Nilai tersebut digambarkan pada gambar 4.4. dari hasil simulasi tersebut diperoleh nilai $C/(I+N)$ sebesar 19,52 dB dengan persentase *coverage* sebesar 98%.



Gambar 7 Grafik C/(I+N) Based On Covered Area

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan *coverage* untuk menentukan *site* secara *uniform* diperoleh jumlah *site* sebanyak 39. Hasil simulasi X2 *handover* menggunakan *Software* NS3 adalah *delay transmission* sebesar 0,0151475s. Dari nilai *delay* tersebut diketahui kebutuhan jarak *overlapped zone* adalah 600m. Berdasarkan kondisi *real site existing*, dengan menggunakan skenario kedua diperoleh jumlah *site* sebanyak 47 yang disimulasikan menggunakan *Software* Atoll untuk menganalisa parameter dari sisi *coverage*. Nilai RSRP rata-rata pada daerah tinjauan adalah -65,87 dBm dan nilai rata-rata C/(I+N) sebesar 19,52 dB dengan persentase *coverage* sebesar 98%.

Daftar Pustaka:

- [1] "398 juta penumpang naik kereta sepanjang tahun 2017", [Online] Tersedia :<https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/09/113200026/389-jutapenumpang-naik-kereta-sepanjang-tahun-2017> [Diakses 23 Maret 2018 15:53].
- [2] "Studi kelayakan Kereta Cepat Jakarta-Surabaya Kelar Dalam 3 Minggu", [Online]Tersedia: <https://ekonomi.kompas.com/read/2017/07/06/072718926/studi.kelayakan.kereta.cepat.jakarta-surabaya.kelar.dalam.3.minggu> [Diakses 23 maret 2018 15:56]
- [3] "LTE Railway Service Korea Samsung", [Online] Tersedia: <https://news.samsung.com/us/lte-railway-service-korea-samsung-kt/> [Diakses 27 maret 2018 13:48]
- [4] J. T. J. Penttinen, "The Telecommunications Handbook," 2015.
- [5] R. He *et al.*, "High-Speed Railway Communications: From GSM-R to LTE-R," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 11, no. 3, pp. 49–58, 2016.
- [6] T. Gao and B. Sun, "A high-speed railway mobile communication system based on LTE," *ICEIE 2010 - 2010 Int. Conf. Electron. Inf. Eng. Proc.*, vol. 1, no. Iceie, pp. 414–417, 2010.
- [7] J. J. (Jon. H. Park, H. C. Chao, H. Arabnia, and N. Y. Yen, "Advanced multimedia and ubiquitous engineering: Future information technology volume 2," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 354, no. July, 2016.
- [8] T. Zhou, C. Tao, S. Salous, L. Liu, and Z. Tan, "Implementation of an LTE-based channel measurement method for high-speed railway scenarios," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 65, no. 1, pp. 25–36, 2016.
- [9] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medour, and M. Salazar-palma, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication," 2003.
- [10] N. Baihaqi, I. H. Wijanto, and U. K. Usman, "Perencanaan Coverage dan Capacity Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 700MHz pada Tol Cipularang (Cikampek-Purwakarta-Padalarang) Menggunakan Metode Physical Cell Identity (PCI)," *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2995–3002, 2015.
- [11] M. Assyadzily, A. Suhartomo, and A. Silitonga, "Evaluation of X2-handover performance based on RSRP measurement with Friis path loss using network simulator version 3 (NS-3)," *2014 2nd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2014*, vol. 3, pp. 436–441, 2014.
- [12] C. W. Lee, M. C. Chuang, M. C. Chen, and Y. S. Sun, "Seamless handover for high-speed trains using femtocell-based multiple egress network interfaces," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 13, no. 12, pp. 6619–6628, 2014.
- [13] G. Prihatmoko, A. A. Muayyadi, and H. Wijanto, "PERANCANGAN JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) FREKUENSI 700 MHz PADA JALUR KERETA API."

- [14] N. Hamid, M. Kawser, and M. Hoque, "Coverage and Capacity Analysis of LTE Radio Network Planning considering Dhaka City," *Int. J. ...*, vol. 46, no. 15, pp. 49–56, 2012.
- [15] Q. Hou, C. Qiu, S. He, and T. Gao, "Study of 3G/4G Network Convergence Planning Scheme in High-Speed Railway," *Int. J. Commun. Netw. Syst. Sci.*, vol. 10, no. 05, pp. 301–310, 2017.
- [16] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medour, and M. Salazar-palma, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication," 2003.