

MODEL PROPAGASI KOMUNIKASI BERGERAK LTE 1800 MHZ DI KOTA PEKANBARU

MODEL PROPAGATION OF MOBILE COMMUNICATION LTE 1800 MHz IN PEKANBARU CITY

Sutoyo¹, Indika Herni², Muhammad Luthfi Hamzah³, Mulyono⁴

^{1, 2, 3, 4}Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

sutoyo@uin-suska.ac.id¹, indika.herni@students.uin-suska.ac.id²,

muhammad.luthfi@uin-suska.ac.id³, mulyono@uin-suska.ac.id⁴

ABSTRACT

Propagation model is an important part that can be used to design a communication network one of them is mobile communication. The difference in the propagation signal received from the transmitter to the mobile station will result in loss propagation so we need a propagation model that can describe the propagation characteristics of a region such as urban areas in this case is Pekanbaru City. To get the propagation model in accordance with the characteristics of Pekanbaru City the method used is measurement through a drive test. This research aimsto determine the mobile communication propagation model in LTE 1800 MHz that fits the characteristics of Pekanbaru City. Based on the results of the measurement of the value of loss to distance obtained by the propagation model of mobile communication in the city of Pekanbaru with 3 models of the equation, among others linear equation model: $L = 5.1 \times D + 85$, quadratic equation: $L = 2.2 \times D^2 + 3 \times D^2 + 86$ and cubic equation: $L = 0.65 \times D^3 + 0.84 \times D^2 + 3.6 \times D + 86$.

Keywords: *Mobile communication, Pekanbaru City, Propagation model, Propagation loss*

ABSTRAK

Model propagasi merupakan bagian penting yang dapat digunakan untuk merancang suatu jaringan komunikasi salah satunya komunikasi bergerak. Perbedaan sinyal propagasi yang diterima dari pemancar ke mobile station akan mengakibatkan loss propagasi sehingga dibutuhkan model propagasi yang dapat menggambarkan karakteristik propagasi suatu wilayah seperti daerah urban dalam hal ini adalah Kota Pekanbaru. Untuk mendapatkan model propagasi yang sesuai dengan karakteristik Kota Pekanbaru metode yang digunakan adalah pengukuran melalui drive test. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model propagasi komunikasi bergerak LTE 1800 MHz yang sesuai dengan karakteristik Kota Pekanbaru. Berdasarkan hasil pengukuran nilai loss terhadap jarak diperoleh model propagasi komunikasi bergerak wilayah Kota Pekanbaru dengan 3 model persamaan antara lain model persamaan linier : $L = 5.1 \times D + 85$, persamaan kuadrat : $L = 2.2 \times D^2 + 3 \times D^2 + 86$ dan persamaan kubik : $L = 0.65 \times D^3 + 0.84 \times D^2 + 3.6 \times D + 86$.

Kata Kunci : *Komunikasi bergerak, Kota Pekanbaru, Model Propagasi, Loss propagasi*

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem komunikasi saat ini mengalami perkembangan yang pesat seiring dengan kemajuan teknologi. Sistem komunikasi bergerak merupakan teknologi yang mendukung hubungan komunikasi tanpa batas. Sistem komunikasi bergerak ini dapat

dilakukan dimana saja apabila pengguna sistem komunikasi berada dalam area cakupan penyedia jasa telekomunikasi (Nasution, dkk., 2018). Upaya peningkatan layanan dilakukan dengan mengimplementasikan teknologi yang lebih handal dari segi kecepatan akses maupun kapasitas serta cakupan

jaringan. Teknologi Long Term Evolution (LTE) dapat menjadi jawaban atas kebutuhan tersebut. Sebelum diterapkan teknologi LTE, perlu diidentifikasi frekuensi yang akan dilakukan. Frekuensi merupakan sumber daya yang terbatas, sehingga penggunaannya harus seefisien mungkin. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengimplementasikan frekuensi yang telah digunakan pada saat ini yaitu frekuensi 1800 MHz yang selama ini digunakan untuk teknologi GSM (Ariyanti & Perdana, 2015). Pengenalan jaringan 4G LTE di Indonesia sudah dilakukan pada tahun 2013. Area layanan yang dijangkau untuk pertama kali adalah Jakarta.

Teknologi yang diterapkan adalah Time Division Duplex (TDD-LTE) pada frekuensi 2300 MHz. Untuk di Pekanbaru, jaringan 4G LTE diperkenalkan pada akhir Juni 2016. Provider yang pertama yaitu operator Telkomsel 4G dengan frekuensi 1800 dan coverage sebagian kota Pekanbaru, pusat perbelanjaan, dan perguruan tinggi (Efriyendri & Rahayu, 2017). Namun permasalahan yang muncul pada sistem komunikasi ini adalah kurangnya kualitas suatu jaringan pada daerah tertentu yang disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya tinggi sebuah gedung yang dapat menghambat gelombang sinyal dan jarak antara BTS (Base Transceiver Station) dengan MS (Mobile System). Untuk itu diperlukan model propagasi yang cocok untuk karakteristik suatu daerah tersebut (Purnamirza, dkk., 2014). Pemodelan propagasi merupakan bagian penting dalam merancang suatu jaringan komunikasi bergerak. Dalam sistem komunikasi bergerak, model propagasi diperlukan untuk menganalisis kondisi karakteristik propagasi, perkiraan interferensi, perkiraan parameter sel, pantulan atau halangan (obstacle) dan

jarak. Beberapa faktor yang harus diperhitungkan pada perencanaan sebuah jaringan komunikasi bergerak adalah tinggi antena Transmitter (Tx) dan Receiver (Rx), daya yang dipancarkan, daerah radius sel (urban, suburban atau rural) yang semuanya itu sangat dipengaruhi oleh besarnya redaman yang terjadi di sepanjang saluran (pathloss) (Purnamirza, dkk., 2014).

Secara empiris, terdapat banyak model propagasi yang telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir untuk perancangan jaringan komunikasi bergerak. Model propagasi yang umum digunakan diantaranya adalah model Okumura-Hatta, model Cost 231 dan model Lee. Meskipun demikian, model-model tersebut tidak dapat digunakan untuk menentukan model propagasi yang akurat pada suatu daerah tertentu, karena model-model tersebut bersifat umum (rural, suburban, urban), sementara di setiap daerah atau tempat memiliki karakteristik (bangunan, geografis, kontur, pepohonan) yang berbeda antara daerah satu dengan daerah yang lainnya. Oleh karena itu, untuk menentukan model yang lebih akurat dibandingkan dengan model-model yang umum digunakan pada daerah tertentu, maka diperlukan suatu pengukuran secara langsung ke lapangan untuk mendapatkan data propagasi, setelah data propagasi didapat dan diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan suatu pemodelan (model propagasi) (Purnamirza, dkk., 2014). Pekanbaru merupakan salah satu kota dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya, pembangunan gedung-gedung tinggi yang semakin banyak dan pembangunan jaringan telekomunikasi juga semakin pesat. Ini merupakan salah satu hal yang berpengaruh terhadap pembuatan model propagasi untuk kota Pekanbaru dengan

beragam model karakteristik lingkungan yang ada. Karena dalam kondisi langsung di lapangan, setiap pemancar atau BTS mempunyai daya jangkauan yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi karakteristik di wilayah tersebut. Untuk itu diperlukan model propagasi yang sesuai dengan karakteristik pada suatu wilayah tersebut (Purnamirza, dkk., 2014). Penelitian mengenai model propagasi ini telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian yang berjudul "Model Propagasi untuk Kanal Radio Bergerak pada Frekuensi 900 MHz di Kota Pekanbaru" melakukan penelitian untuk menentukan model propagasi yang sesuai untuk daerah Pekanbaru yang meliputi jalan Soekarno Hatta, jalan Arifin Ahmad, jalan Sudirman, jalan Riau dan jalan Nangka. Setelah mendapatkan model loss propagasi, dilakukan pendekatan model yang diperoleh dengan model yang umum digunakan, yaitu model Hatta, Cost 231 dan model Lee. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model propagasi yang mendekati untuk kota Pekanbaru adalah model Hatta Dense Urban dengan nilai loss propagasi maksimumnya sebesar 116,624 dBm, untuk nilai loss propagasi minimumnya sebesar 69,539 dBm dan untuk nilai loss propagasi rata-ratanya sebesar 100,299 dBm (Purnamirza, dkk., 2014). Penelitian selanjutnya berjudul "Model Propagasi Kanal Radio Bergerak pada GSM Frekuensi 900 MHz di Daerah Taluk Kuantan". Penelitian ini dilakukan pada daerah Taluk Kuantan yang mana daerah tersebut termasuk kategori rural, yaitu daerah pedesaan yang penduduknya belum terlalu padat dan belum ada pembangunan gedung-gedung tinggi. Penelitian ini menentukan model propagasi yang sesuai untuk daerah Taluk Kuantan yang dilakukan dengan drive test pada rute yang telah ditentukan. Data hasil pengukuran dan

perhitungan menggunakan model-model propagasi yang ada seperti model free space loss, Hatta (urban, suburban, rural), Cost 231, Lee, Egli, Ecc-33 dan Walfisch-Ikegami. Model propagasi yang mendekati untuk daerah Taluk Kuantan adalah model Cost 231 dengan nilai loss maksimum sebesar 137,798 dB, untuk nilai loss minimum sebesar 92,196 dB dan untuk rata-rata nilai loss sebesar 128,007 dB (Purnamirza, dkk., 2014).

Beberapa penelitian tentang propagasi komunikasi bergerak telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, baik yang berkaitan dengan perhitungan Link budget (Simarmata, 2019), maupun terkait dengan kualitas jaringan yang diperoleh dengan melakukan pengukuran (Afroz, dkk., 2015, Alomary., 2013, Faisal, dkk., 2017) serta melakukan model propagasi (Angela & Nugroho, 2017, Triana & Pinem, 2015). Pada penelitian ini menentukan sebuah model propagasi komunikasi bergerak pada jaringan LTE 1800 MHz dengan teknologi 4G pada daerah urban dalam hal ini adalah Kota Pekanbaru. Penelitian ini melakukan pengukuran untuk mendapatkan daya diterima dari BTS ke mobile station dalam hal ini handphone menggunakan aplikasi G-NetTrack Pro sebagai drive test. Dengan adanya model propagasi komunikasi bergerak dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam merancang komunikasi bergerak di Kota Pekanbaru pada frekuensi 1800 MHz.

METODE PENELITIAN

Adapun metode dalam penelitian ini dalam menentukan model propagasi komunikasi bergerak pada jaringan LTE 1800 MHz untuk daerah Kota Pekanbaru diawali dengan melakukan studi literatur, mengumpulkan data-data terkait penelitian, penentuan lokasi, lalu melakukan pengukuran dengan metode *drive test*. Hasil data pengukuran

kemudian diolah untuk mendapatkan redaman propagasi atau loss propagasi. Nilai loss propagasi kemudian dimodelkan sebagai fungsi terhadap jarak antara BTS ke mobile station yang tergabung dalam dalam Langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

Penentuan Lokasi Pengukuran

Salah satu bagian penting dalam melakukan pengukuran untuk mendapatkan model propagasi komunikasi bergerak adalah penentuan lokasi pengukuran. Lokasi pengukuran sebaiknya dapat mengcover seluruh wilayah yang dijadikan pengukuran sehingga karakteristik propagasi komunikasi dapat ditentukan dalam sebuah model propagasi. Pada penelitian ini memilih Kota Pekanbaru sebagai lokasi pengukuran dan tergolong dalam daerah urban. Perkembangan wilayah perkotaan tentunya akan berdampak kepada propagasi sinyal pada komunikasi bergerak sehingga dibutuhkan model propagasi yang sesuai dengan kondisi terbaru untuk wilayah Kota Pekanbaru.

Melakukan Pengukuran

Pada tahapan ini akan melakukan pengukuran melalui *drive test* untuk mendapatkan model propagasi komunikasi bergerak pada frekuensi LTE 1800 MHz dengan lokasi pengukuran adalah kota Pekanbaru. Adapun tahapan yang dilakukan adalah menyiapkan peralatan pengukuran berupa sebuah *handphone* yang sudah terinstall aplikasi G-NetTrack Pro untuk mendapatkan daya diterima dari BTS ke mobile station. Langkah selanjutnya adalah persiapan drive test. Persiapan *drive test* yang dilakukan adalah *handphone android* yang telah terpasang GPS serta aplikasi G-Nettrack Pro dan kendaraan sepeda motor yang digunakan dalam pengukuran. Penelitian ini

menggunakan jenis *handphone* OPPO F9 dengan kapasitas RAM 4 GB dan aplikasi G-Nettrack Pro v17.6. Setelah persiapan drive test selesai maka dilakukan pengumpulan informasi data panjang jalan Pekanbaru dan luas wilayah kota Pekanbaru. Berdasarkan badan pusat statistik Kota Pekanbaru tahun 2018 jumlah Panjang jalan dan luas wilayah Kota Pekanbaru adalah 2872,92 Km dan 632.26 KM . Dengan adanya informasi ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan pengukuran sehingga dapat mewakili wilayah seluruh Kota Pekanbaru. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran untuk mendapatkan sinyal daya terima dari BTS ke *handphone* dengan menggunakan aplikasi G-Nettrack Pro. Pengambilan data ini dilakukan sesuai dengan rute yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut skenario pengambilan data *drive test*.



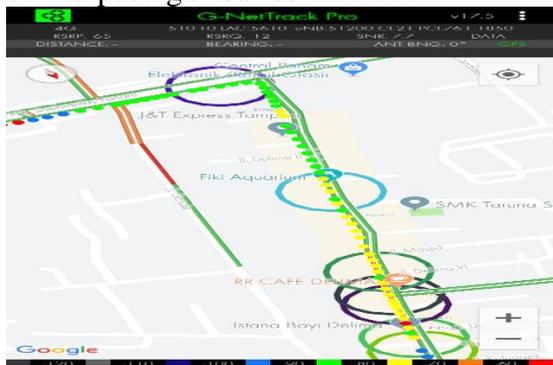
Gambar 1. Skenario Pengukuran

Seperti terlihat pada gambar diatas, setiap BTS akan memancarkan sinyal yang akan diterima oleh *mobile station* atau *handphone*. Pengukuran ini dilakukan secara *mobile* atau bergerak menggunakan sepeda motor. Hasil dari pengukuran *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :

komunikasi bergerak LTE 1800 MHz yang sesuai dengan karakteristik kota Pekanbaru. Untuk mendapatkan hasil analisis model propagasi, dibutuhkan sinyal daya terima dari BTS ke *handphone* dan nilai *loss* propagasi dari tiap-tiap *cell ID* yang didapatkan dengan melakukan pengukuran *drive test*.

Hasil pengukuran

Setelah mendapatkan lokasi pengukuran masing-masing wilayah Pekanbaru, penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengukuran sesuai dengan jumlah pengukuran yang telah didapatkan. Hasil dari pengukuran masing-masing wilayah tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. Hasil Pengukuran Kecamatan Tampan

Pada Kecamatan Tampan dilakukan pengukuran sepanjang 9,14 Km. Terlihat bahwa lingkaran-lingkaran yang ada pada gambar tersebut adalah cakupan *cellid* yang digunakan pada saat *drive test* yang berfungsi untuk mendapatkan daya terima. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pengukuran dilakukan di jalan H.R Soebrantas kemudian dilanjutkan ke jalan Delima. Hasil pengukuran pada Kecamatan Tampan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Pengukuran Kecamatan Tampan

Timestamp	Cell ID	Network Tech	Level	Distance
2019.08.28_11.33.44	31	4G	-77	1
2019.08.28_11.33.53	31	4G	-83	40
2019.08.28_11.33.54	21	4G	-80	44
2019.08.28_11.33.55	21	4G	-80	55
2019.08.28_11.34.03	21	4G	-79	60
2019.08.28_11.34.05	21	4G	-79	55
2019.08.28_11.34.05	31	4G	-84	16
2019.08.28_11.34.06	31	4G	-84	130
2019.08.28_11.34.07	31	4G	-84	153
2019.08.28_11.34.08	31	4G	-85	149

Pada tabel diatas merupakan data pengukuran menggunakan G-Nettrack Pro yang di input ke dalam Microsoft Excel. Hasil pengukuran menggunakan aplikasi G-Nettrack Pro tersebut diperoleh data berupa *cellid*, daya terima, jarak BTS ke *handphone* dan teknologi yang digunakan yaitu 4G.

Hasil pengolahan drive Test

Pengolahan data *drive test* ini bertujuan untuk mengumpulkan data berdasarkan wilayah yang ada di Kota Pekanbaru dan berdasarkan *cellid* yang didapatkan pada saat *drive test*. Berikut ini adalah pengumpulan data berdasarkan data *cell id* yang telah diolah ke dalam Microsoft excel

Tabel 2. Filter Cell Id

Timestamp	Cell ID	Network Tech	Level	Distance
2019.08.28_14.41.32	11	4G	-89	15
2019.08.28_14.41.34	11	4G	-89	31

2019.08.28_14.41.36	11	4G	-86	48
2019.08.28_14.41.38	11	4G	-87	62
2019.08.28_14.41.43	11	4G	-86	100
2019.08.28_14.41.45	11	4G	-86	112
2019.08.28_14.41.47	11	4G	-79	123
2019.08.28_14.41.51	11	4G	-79	145
2019.08.28_14.41.54	11	4G	-75	159

Dari tabel 2 terlihat bahwa hasil pengolahan data berdasarkan filter per *cell id* dalam hal ini menampilkan hasil dari *cell id* 11 dengan daya terima dan jarak yang berbeda sesuai penerimaan antara BTS dengan *mobile station*. Dengan pengolahan data berdasarkan *cell id* akan mempermudah dalam perhitungan loss propagasi.

Perhitungan Loss Propagasi

Tahapan ini menggunakan rumus *free space loss* untuk mendapatkan nilai loss untuk masing-masing *cellid*. Berikut ini adalah rumus *free space loss* :

$$fsl = 32,45 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

Berikut merupakan hasil perhitungan *free space loss* untuk masing-masing *cell id* dari hasil pengolahan data. Dari hasil *free space loss* ini akan diperoleh nilai loss propagasi untuk masing-masing *cell id*.

Tabel 3. Hasil free space loss

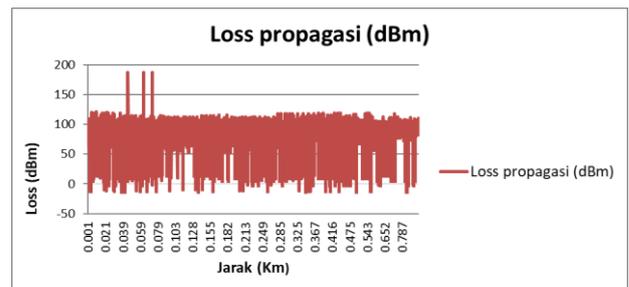
Cellid	d (Km)	Frekuensi (MHz)	fsl (dBm)
11	0,159	1800	81,58
12	0,035	1800	68,44
14	0,11	1800	78,38
15	0,124	1800	79,42
21	0,157	1800	81,47
22	0,154	1800	81,31
24	0,196	1800	83,4
25	0,141	1800	80,54
31	0,164	1800	81,85

32	0,029	1800	66,8
34	0,063	1800	73,54
35	0,058	1800	72,82

Tabel 4. Hasil loss Propagasi cell id 11

Cell id	Pr (dBm)	Jarak (Km)	Loss propagasi (dBm)
11	-78	0.002	87.58
11	-84	0.003	93.58
11	-78	0.009	87.58
11	-90	0.01	99.58
11	-73	0.01	82.58
11	-65	0.01	74.58
11	-95	0.01	104.58
11	-84	0.01	93.58
11	-80	0.01	89.58
11	-85	0.01	94.58
11	-81	0.01	90.58
11	-79	0.01	88.58
11	-62	0.01	71.58
11	-86	0.01	95.58

Setelah data loss propagasi diperoleh maka untuk melihat perbedaan jarak yang dapat mempengaruhi loss propagasi dapat diplot seperti gambar berikut

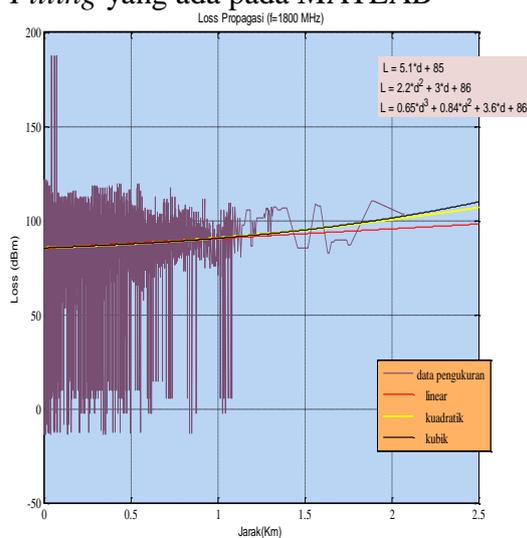


Gambar 5. Data Loss terhadap jarak

Hasil Model Propagasi

Dari beberapa *Cell id* yang telah dikelompokkan dan ditentukan nilai loss propagasi maka Langkah selanjutnya adalah menentukan model loss propagasi untuk seluruh *Cell id* yang ada di Kota Pekanbaru yang dapat menggambarkan karakteristik propagasi komunikasi bergerak LTE 1800 MHz. Untuk

menentukan model propagasi pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB untuk menampilkan grafik loss propagasinya. Kemudian untuk menampilkan persamaan matematika dari model loss propagasi menggunakan 3 model persamaan loss propagasi yaitu persamaan linier, kuadratik dan kubik dengan menggunakan *Tools Basic Fitting* yang ada pada MATLAB



Gambar 6 Model Loss propagasi untuk semua Cell id dalam wilayah Kota Pekanbaru.

Gambar 6 merupakan hasil model propagasi komunikasi bergerak pada jaringan LTE1800 MHz Kota Pekanbaru. Pemodelan ini didapatkan dari hasil penggabungan data loss propagasi seluruh *cellid* yang di plot ke *software* MATLAB. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa grafik mengalami kenaikan dan penurunan. Hal itu disebabkan oleh penghalang yang ada pada saat *drive test*. Semakin banyak penghalang maka semakin besar juga nilai loss propagasinya. Namun jika penghalangnya sedikit maka nilai loss propagasinya juga akan sedikit. Jarak minimum yang didapatkan pada pengukuran ini adalah sebesar 0,001 Km dengan loss propagasi sebesar 99,38 dBm. Kemudian jarak maksimum yang didapatkan pada pengukuran ini adalah

sebesar 2,072 Km dengan loss propagasi sebesar 103,4 dBm. Untuk langkah selanjutnya adalah menentukan persamaan model propagasi dengan menggunakan *software* untuk menggambarkan model antara loss dengan jarak dari BTS ke *handphone*. Dari hasil pengolahan diperoleh persamaan model propagasi dengan 3 pendekatan dengan hasil adalah persamaan linier : $L = 5.1 \times D + 85$, persamaan kuadratik : $L = 2.2 \times D^2 + 3 \times D^2 + 86$ dan persamaan kubik : $L = 0.65 \times D^3 + 0.84 \times D^2 + 3.6 \times D + 86$.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian tentang pemodelan propagasi komunikasi bergerak LTE 1800 MHz untuk Kota Pekanbaru yang dilakukan pada penelitian ini telah berhasil menemukan model loss propagasi komunikasi bergerak dengan 3 pendekatan model antara lain model persamaan linier : $L = 5.1 \times D + 85$, persamaan kuadratik : $L = 2.2 \times D^2 + 3 \times D^2 + 86$ dan persamaan kubik : $L = 0.65 \times D^3 + 0.84 \times D^2 + 3.6 \times D + 86$.

DAFTAR PUSTAKA

- Angela, D., & Nugroho, T. A. (2017). PENGUKURAN PROPAGASI RADIO AKSES DI AREA BANDUNG TENGAH DALAM KAITANNYA DENGAN MODEL OKUMURA-HATA & COST-231. *Jurnal Telematika*, 5(1).
- Alomary, F. O. (2013). A methodology for quality of service evaluation in 4th generation (4g) long term evolution (lte) of cellular data networks. Florida Institute of Technology.
- Afroz, F., Subramanian, R., Heidary, R., Sandrasegaran, K., & Ahmed, S. (2015). SINR, RSRP, RSSI and RSRQ measurements in long term

- evolution networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*.
- Ariyanti, S., & Perdana, D. (2015). Analisis Kelayakan Implementasi Teknologi LTE 1.8 GHz Bagi Operator Seluler di Indonesia [Feasibility Analysis of LTE 1.8 GHz for Mobile Operators in Indonesia]. *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, 13(1), 61-78.
- Efriyendro, R., & Rahayu, Y. (2017). *Analisa Perbandingan Kuat Sinyal 4G LTE Antara Operator Telkomsel dan XL AXIATA Berdasarkan Paramater Drive Test Menggunakan Software G-NetTrack Pro Di Area Jalan Protokol Panam* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Faisal, M., Bakri, M. A., & Firasanti, A. (2017). OPTIMASI KINERJA JARINGAN SELULER MELALUI PEMASANGAN REPEATER PADA AREA INDOOR DENGAN METODE DRIVE TEST. *JREC (Journal of Electrical and Electronics)*, 5(1), 45-62.
- Nasution, F. A., Faiza, D., & Budayawan, K. (2018). ANALISIS MODEL PROPAGASI KOMUNIKASI BERGERAK PADA SISTEM GSM DI PT. XL AXITA PADANG. *VoteTEKNIKA: Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, 4(1).
- Purnamirza, T., Arifin, I., & Rahmi, D. (2014). MODEL PROPAGASI KANAL RADIO BERGERAK PADA GSM FREKUENSI 900 MHZ DI DAERAH TALUK KUANTAN. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri*, 11(2), 185-191.
- Purnamirza, T., Yuhrijul, Y., & Rahmi, D. (2014). Model Propagasi untuk Kanal Radio Bergerak pada Frekuensi 900 MHz di Kota Pekanbaru. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri*, 12(1), 90-98
- Simarmata, M. P. A. (2019). *ANALISA LINK BUDGET DENGAN PERBANDINGAN PEMODELAN PROPAGASI PADA KOMUNIKASI SELULAR DAERAH URBAN* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Triana, N., & Pinem, M. (2015). Analisis model propagasi path loss semi-deterministik untuk aplikasi triple band di daerah urban metropolitan centre.