

PERENCANAAN *TERRESTRIAL TRUNKED RADIO* (TETRA) DIGITAL PADA KERETA BANDARA SOEKARNO HATTA – HALIM PERDANA KUSUMA

PLANNING OF TERRESTRIAL TRUNKED RADIO (TETRA) DIGITAL ON AIRPORT TRAIN SOEKARNO HATTA – HALIM PERDANA KUSUMA

Anastasia Clara¹, Dr. Ir. Rina Pudji Astuti, M.T², Dr. Ir. Erna Sri Sugesti, M.Sc³

¹Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

^{2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹anastclara@yahoo.com, ²rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id, ³ernasugesti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak- Sistem komunikasi Kereta Api saat ini menggunakan satu kanal analog frekuensi 167-171 MHz, kondisi trafik wilayah Jakarta membutuhkan lebih dari satu kanal. Kebutuhan ini dapat disolusikan oleh *Terrestrial Trunked Radio* (TETRA) yang memiliki empat kanal dengan frekuensi kerja 410-430 MHz, satu *transmitter* TETRA menyediakan empat buah kanal dengan satu kanal dipakai untuk kontrol. Perencanaan TETRA dilakukan pada Stasiun Soeta-Halim dengan jarak 43,9 km. Perencanaan ini menggunakan metode *planning coverage*, dengan mencari nilai parameter *link power budget* untuk menentukan MAPL dan didapat nilai radius untuk menentukan jumlah *site*. Metode *planning capacity*, menentukan *demand* TETRA dan jumlah kanal dengan bantuan tabel erlang B. Dari metode tersebut dilakukan pengujian dengan simulasi dan validasi perhitungan. Hasil perencanaan membutuhkan 2 buah *site*, hasil simulasi level sinyal rata-rata adalah -54,45 dBm, dengan validasi perhitungan RSL sebesar -103 dBm dimana nilai level sinyal pada simulasi lebih baik dibandingkan dengan perhitungan. Hasil simulasi C/I sebesar ≥ 18 dB dimana mendekati hasil perhitungan 75,71%. *Mean number of server* pada *overlapping zone* sebesar 1,12, BER sebesar 3×10^{-5} dan pada *backhaul link* yang direncanakan memenuhi batas *clearance* dan tidak mengalami pelemahan sinyal terima.

Kata kunci : TETRA, ETSI, *planning based on capacity, planning based on coverage, backhaul.*

Abstract- Railway communications system currently uses one analog channel frequency 167-168 MHz, Jakarta traffic conditions require more than one channel. This problem solution by TETRA with frequency 410-430 MHz, one TETRA transmitter provides four channels with one channel is used for control. TETRA Network planning is done at stations Soetta-Halim with a distance of 43.9 km. This planning using *planning based on coverage* method, to find the value of the parameter *link power budget* to determine MAPL and to get radius to determine the number of sites needed. Based on *capacity planning* methods, determine the number of TETRA users and the number of channels required to support erlang table B. Of these methods will be simulated using the software and the results are validated against the calculation. Digital TETRA planning results in Airport Train Soetta-Halim requires 2 site, plotting locations on the St. Kalideres and St. Sudirman area meet the coverage radius. The results of signal level simulation the average entire the region is -54.45 dBm, with the validation of calculations RSL is -103 dBm where the value of the modulation signal level better results compared with the results of the calculation. The C/I simulation results of ≥ 18 dB which is approximately the calculation result is 75.71%. *Mean number of server overlapping zone* is 1.12, calculation result of Bit Error Rate 3×10^{-5} and on the side of *backhaul link* planned meet the clearance limit and no weaknesses signal received.

Keywords: TETRA, ETSI, *planning based on capacity, planning based on coverage, backhaul.*

1. Pendahuluan

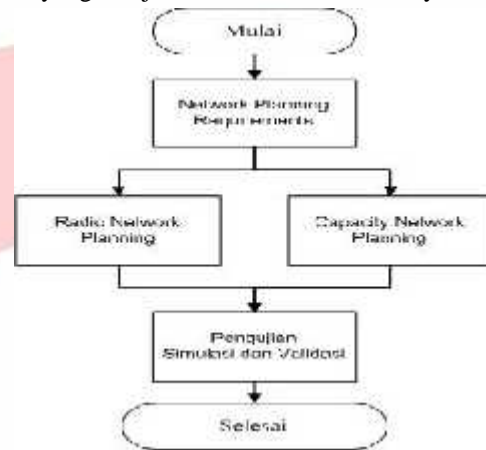
Kereta Api pada umumnya memiliki *train dispatching* yang merupakan sistem komunikasi suara dan persinyalan antara Pusat Kendali (PK) dengan stasiun dan lokomotif, untuk mengontrol lalu lintas kereta api. Setiap KA yang datang kepada stasiun tertentu, jam kedatangan dan kondisinya dilaporkan oleh stasiun tersebut melalui pesawat stasiun kepada PK, sehingga adanya kecelakaan atau keterlambatan KA bisa diketahui oleh PK. Sistem komunikasi Kereta Api saat ini menggunakan satu kanal analog frekuensi 167-171 MHz, kondisi trafik wilayah Jakarta membutuhkan lebih dari satu kanal [1].

Kebutuhan ini dapat disolusikan oleh *Terrestrial Trunked Radio* (TETRA) yang memiliki empat kanal dengan frekuensi kerja 410-430 MHz, satu *transmitter* TETRA menyediakan empat buah kanal dengan satu kanal dipakai untuk kontrol [3]. Pemakaian sistem komunikasi TETRA memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap keselamatan penumpang dan informasi yang dibutuhkan penumpang bisa terpenuhi. Daerah yang menjadi studi kasus adalah Bandara Soekarno Hatta, Batu Ceper, Duri, Sudirman (Pusat Kendali), Manggarai, dan Bandara Halim Perdana Kusuma, dengan jarak sejauh 43,90 km. Sebelum mengimplementasi jaringan TETRA,

dilakukan perencanaan dengan menggunakan metode *radio network planning*, dengan memperhitungkan parameter pada *link Budget* seperti nilai MAPL, yang nantinya mendapatkan nilai cakupan radius hingga mendapatkan jumlah *site* yang dibutuhkan. Metode *Capacity Planning*, dengan memperhitungkan jumlah pengguna TETRA Kereta Bandara, serta estimasi jumlah kanal yang dibutuhkan. Metode *Frequency Planning*, perencanaan penggunaan kanal frekuensi radio 410 MHz – 430 MHz, serta pengalokasian *site* pada peta jalur Soeta-Halim, agar *plotting* dan konfigurasi *site* tepat sehingga kualitas jaringan TETRA menjadi lebih baik [2]. Hasil dari metode yang dilakukan, disimulasikan dengan *software* untuk dilihat nilai *level signal*, *overlapping zone*, *C/I*, BER dan *fresnel zone*, apakah hasil sudah sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Tujuan Riset ini adalah untuk memperoleh kualitas sinyal *voice* dan data yang lebih baik untuk radio *trunking* pada kereta Bandara Soeta-Halim.

2. Perencanaan Jaringan Tetra

Gambar 1 merupakan tahapan perencanaan jaringan, daerah yang menjadi riset ini termasuk wilayah urban dengan frekuensi yang ditetapkan menurut peraturan Menkominfo RI yaitu 410-430 MHz. Perencanaan ini menggunakan metode *planning based on coverage*, dengan mencari nilai parameter *link power budget* seperti kelas daya *output*, EIRP, *loss feeder*, dan *gain* antena lalu menentukan MAPL dan mendapat nilai radius untuk menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan. Metode *planning based on capacity*, menentukan jumlah pengguna (*demand*) TETRA dan jumlah kanal yang diperlukan dengan bantuan tabel erlang B. Dari metode tersebut dilakukan pengujian dengan melakukan simulasi menggunakan *software* dan dari hasil tersebut dilakukan validasi terhadap perhitungan, parameter yang menentukan baik atau tidaknya kualitas suara dilihat dari parameter *signal level*, *overlapping zone*, *fresnel zone*, BER maupun *C/I*. Gambar 1 menunjukkan diagram Alir perencanaan jaringan TETRA.



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Jaringan

2.1 Radio Network Planning

Perencanaan *Radio Coverage* bertujuan untuk menentukan luasan cakupan dan jumlah dari *base station* yang diperlukan untuk daerah Kereta Bandara yang melewati 13 stasiun, 6 diantaranya adalah stasiun pemberhentian, yaitu Soeta, Batu Ceper, Duri, Sudirman, Manggarai, dan Halim. Pada bagian ini menjelaskan spesifikasi perangkat yang digunakan untuk instalasi jaringan TETRA [1].

- **Pemilihan Kelas Base Station**

Base station yang digunakan adalah Motorola MTS4, karena selain lebih fleksibel, *base station* memiliki kinerja tinggi dengan meningkatkan efisiensi daya, sehingga biaya operasi juga lebih rendah [5].

- **Loss Kabel**

Kabel yang digunakan untuk menghubungkan antara *base station* dengan antena, adalah kabel *coaxial 7/8 inch RMC 78-T* dengan *loss* 2,7 dB per 100 meter untuk frekuensi 400 MHz. Ketinggian *tower* yang digunakan rata – rata 50 m, sehingga untuk instalasi saluran hingga ke perangkat dibutuhkan kabel sekitar 60 m [7].

- **Antena yang digunakan**

Antena berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik, lalu meradiasikannya (pelepasan energi elektromagnetik ke udara/ruang bebas). Jenis antena yang digunakan adalah antena produk Skymasts *Four element stacked dipole array, directional 414.04-405-Txx* yang bekerja pada frekuensi 380 – 430 MHz dengan *gain* 10,85 dBi [8].

- **Perhitungan Radio Link Budget**

Radio link budget merupakan perhitungan *loss* dan *gain* dari antena pemancar menuju penerima. Perhitungan *link power budget* ini bertujuan untuk mencari *maximum allowable path loss* (MAPL). MAPL adalah *loss* maksimum yang diijinkan antara pengirim dan penerima.

Perhitungan Tabel 1, didapat MAPL arah *downlink* 155,15 dB dan arah *uplink* 154,15 dB. Agar sinyal pada arah *downlink* dan *uplink* dapat diterima dengan baik, maka MAPL yang digunakan adalah MAPL arah *uplink*, karena toleransi *loss downlink* lebih besar dibanding dengan *loss uplink*.

Tabel 1 Radio *Link budget*

	DL	UL	Unit	Formula
TX Power	44	40	dBm	A
TX Cable and Filter Loss	2,7	0	dB	B
TX Antenna Gain	10,85	0	dB	C
Peak EIRP	52,15	40	dBm	$D = A - B + C$
Signal level at RX Antenna	-103	-106	dBm	E
Propagation Loss	155,15	146	dB	$F = D - E$
RX Antenna Gain	0	10,85	dB	G
RX Cable Loss	0	2,7	dB	H
Receiver Input Power	-103	-97,85	dBm	$I = E + G - H$

• Radius Site dan Jumlah Base Station Kereta Bandara

Untuk menentukan jari-jari *site* digunakan rumus Okumura-Hatta, karena rumus ini berlaku untuk teknologi radio yang menggunakan frekuensi berkisar dari 150 MHz hingga 1920 MHz. [10].

Berikut ini adalah rumus Okumura-Hatta untuk daerah Urban:

$$L_{\text{urban}}(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_r) \log R \quad (1)$$

dimana :

$$a(h_r) = 3,2 [\log 11,75 h_r]^2 - 4,97 \quad \text{untuk } f_c > 300 \text{ MHz} \quad (2)$$

Keterangan :

f_c : Frekuensi yang digunakan (MHz) R : Jarak antara penerima dan pengirim (km)

h_t : Tinggi antena transmiter efektif (30-200 m) h_r : Tinggi efektif antena penerima (1-10 m)

$a(h_r)$: Faktor koreksi untuk tinggi efektif antena penerima (dB)

Pada kasus ini diambil beberapa asumsi, antara lain : Tinggi Antena (h_t) 50 m, Tinggi Penerima (h_r) 2 m, dan Frekuensi Kerja (f_c) 420 MHz. Berdasarkan proses perhitungan Okumura-Hatta radius maksimum yang mampu dicakupi oleh *base station* adalah 16,9 km *downlink* dan 15,8 km *uplink*. Jarak yang akan dicakupi adalah sejauh 43,90 km, pada proses perencanaan sepanjang jalur Kereta Bandara digunakan *site antenna directional* dengan dua buah sektor. Dari persamaan (3) diperoleh jumlah *site* untuk mencakup daerah tersebut sebanyak 2 *site*.

$$s = \frac{d}{R \times a} \quad (3)$$

Keterangan :

d : Jarak jalur Soeta-Halim (km)

a : Antena dengan jumlah sektor

R : Radius yang dicakupi oleh *site* (km)

s : Jumlah *site* yang dibutuhkan

2.2 Capacity Planning

Capacity Planning bertujuan untuk menjamin GOS suatu jaringan. Hal ini dapat meminimalisasi jumlah *blocking* pada saat jam sibuk. Pelanggan TETRA cenderung menduduki kanal dalam waktu yang singkat namun informasi yang disampaikan bersifat penting. Berikut ini adalah proses Perencanaan Kapasitas Jaringan TETRA.

• TETRA Demand dan Estimasi Jumlah Kanal

Asumsi terjadi pemanggilan dalam

sejam (P) 133 pemanggilan dengan spesifikasi dilihat pada Tabel 3, lama pemanggilan (s) 60 detik dan pengguna TETRA (U) sebanyak 30 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Prediksi Pengguna TETRA

No	Pengguna	Jumlah
1	Kereta per hari	16
2	Stasiun	13
3	Pusat Kendali	1
TOTAL		30

Average call setiap user (T) : P panggilan (4)

Trafik setiap user pada *busy hours* (a) : $T \times U$ Erlang (5)

Total Trafik pada *busy hours* (A) : $a \times U$ (6)

Dari persamaan diatas diperoleh rata-rata panggilan setiap user adalah 4,4 panggilan, Trafik setiap user 0,07 Erlang, dan Total Trafik 2,2 Erlang.

Tabel 3 Pemanggilan Dalam Sejam

Stasiun	Jumlah panggilan Stasiun-PK	Jumlah panggilan PK-Lokomotif
Soekarno Hatta	9	9
Batu Ceper	10	-
Poris	9	-
Kalideres	8	-
Bojong Indah	9	-
Pesing	9	-
Grogol	8	-
Duri	9	-
Tanah Abang	9	-
Karet	8	-
Sudirman Baru (PK)	8	-
Manggarai	10	-
Halim Perdana K.	9	9
Total Jumlah Pemanggilan Dalam Sejam	133	

Estimasi jumlah kanal yang diperlukan :

Untuk menghitung jumlah kanal, dibutuhkan bantuan tabel erlang B, dengan jam sibuk GOS 2%. Untuk mendapatkan total trafik sebesar 2,2 E pada jam sibuk dibutuhkan 6 kanal trafik. Diketahui tiap *site*, terdapat 2 buah sektor (TRx) dan yang disediakan TETRA tiap sektor (TRx) terdapat 4 kanal. Pada *time slot* pertama pada kanal fisik disediakan untuk *Main Control Channel* (MCCH) maka kanal trafik hanya tersedia 3 buah kanal, sehingga sebuah *site* tersedia 6 kanal.

2.3 Frequency Planning

Pada riset ini frekuensi yang dipakai adalah 410-420 MHz dan 420-430 MHz, sesuai dengan peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia nomor 18 tahun 2015 tentang Perencanaan penggunaan Pita Frekuensi Radio (*band plan*) pada Pita Frekuensi Radio 350-438 MHz untuk Sistem Komunikasi Radio *Trunking* Digital. Ada beberapa jenis interferensi yang terjadi pada perencanaan jaringan TETRA, yaitu *adjacent interfeerency* dan *co-channel interfeerency*. *Adjacent interfeerency* adalah interferensi yang terjadi karena frekuensi yang bersebelahan. *Co-channel interfeerency* adalah interferensi akibat frekuensi yang sama. Karena itu, peletakan frekuensi harus diatur dengan baik agar tidak terjadi interferensi [6].

2.4 Perhitungan Validasi

Validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa proses hasil simulasi dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai perhitungan dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Berikut adalah perhitungan Level Sinyal, C/I, BER dan Nilai Clearance.

- **Perhitungan Level Sinyal**

Berikut ini adalah proses perhitungan level sinyal, dengan diketahui data dari Tabel 1 [11]:

$$RSL = EIRP + P_L + L_g + G_r + L_r \quad (7)$$

Keterangan :

RSL : *Receive Signal Level* (dBm)

L_g : *Gas Absorption Loss* (dB)

EIRP : *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

G_r : *RX Antenna Gain* (dB)

P_L : *Propagation Loss* (dB)

L_r : *RX Cable Loss* (dB)

Proses perhitungan didapat nilai RSL sebesar -103 dBm untuk *downlink* dan -97,85 dBm untuk *uplink*.

- **Perhitungan Carrier to Interference (C/I)**

Daya Carrier

Berikut ini adalah proses perhitungan daya *carrier*, dengan diketahui data dari Tabel 1 [12]:

$$C = P_T + G_T + G_R - FSL - L_T - L_R \quad (8)$$

dimana, $FSL = 32,5 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log R_{(km)}$ (9)

Keterangan :

C : Daya *carrier* yang diinginkan (dBm)

FSL : *Free space loss* (dB)

P_T : Daya pancar *Transmitter* (dBm)

L_T : *Loss Transmitter* (dB)

G_T : *Gain* antena *Transmitter* (dB)

L_R : *Loss Receiver* (dB)

G_R : *Gain* antena *Receiver* (dB)

Daya Interferensi

Berikut ini adalah proses perhitungan daya interferensi dengan diketahui data dari Tabel 1 [12]:

$$I = P_{TI} + G_{TI} + G_R - GCD - FSL_I - L_{TI} - L_R \tag{10}$$

dimana, $P_{TI} = EIRP + L_{TI} - G_{TI}$ (11)

Keterangan :

I : Daya Interferensi yang diterima (dBm) GCD : Sudut antara BSC dengan BTS yang berinterferensi

Untuk menghitung nilai Rasio *Carrier to interference* dapat dihitung seperti berikut [12]:

$$C/I \text{ Rasio } \textit{Carrier to interference} \text{ (dB)} = C - I \tag{12}$$

Proses perhitungan C/I sebesar 32 dB *downlink* dan 28 dB *uplink*.

• **Perhitungan pada Bit Error Rate (BER)**

Berikut ini adalah proses perhitungan BER berdasarkan performansi QPSK [11]:

$$BER = \frac{1}{2} e^{-\left(\frac{E_b}{N_0}\right)} \tag{13}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = RSL_{dBW} - (-204 \text{ dBW}) - NF_{dB} - 10 \log (BR) \tag{14}$$

$\frac{E_b}{N_0}$: Energy per bit to Noise (dB), BR : Bit Rate (bps), NF : Noise figure (dB)

Proses perhitungan BER didapat sebesar 3×10^{-5}

• **Perhitungan Clearance Factor**

Berikut ini adalah proses perhitungan *clearance factor* [10]:

$$C_{RI} = \frac{C}{RI} \tag{15}$$

Keterangan :

C_{RI} : Clearance factor first fresnel radius (0,6 m) C : Clearance (m)

RI : First fresnel radius (m)

3. Analisis Hasil Simulasi

Penempatan *site* ini dilakukan dengan menempatkan 1 buah *site* pada daerah stasiun Kalideres dan 1 buah *site* pada daerah pusat kendali yaitu di stasiun Sudirman Baru sesuai radius yang dicakupi. Hal ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan *coverage* dan *capacity* agar sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter* dapat mencakup daerah kerja Kereta Bandara Soeta-Halim secara keseluruhan, lokasi *site* dapat dilihat pada Tabel 4 menurut *Longitude* dan *Latitude*, serta Gambar 2 menurut peta pada *Google Earth*.



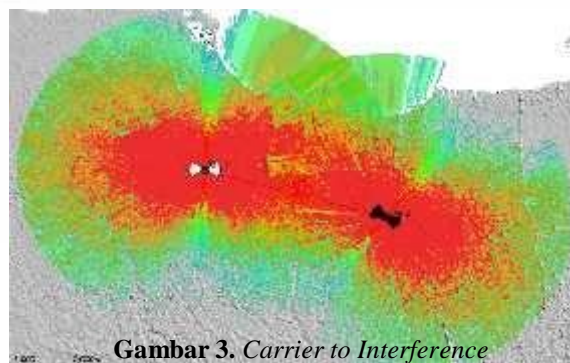
Gambar 2. Lokasi Site Pada Peta Jalur Soeta-Halim

Tabel 4 Lokasi Site Kereta Bandara Soeta-Halim

No	Nama Site	Alamat	Longitude	Latitude
1	Site 1	Jalan Haji Saleh	106°42'6.52"E	6°10'1.99"S
2	Site 2	Jalan Ujung Unggaran	106°50'18.64"E	6°12'29.55"S

3.1 Kondisi berdasarkan C/I

Carrier to Interference adalah perbandingan antara *signal carrier* dengan sinyal penginterferensi. Pada simulasi ini yang menjadi sinyal penginterferensi adalah *adjacent channel* dan *co-channel*. Gambar 3 menunjukkan nilai C/I yang didapat dari hasil simulasi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai C/I paling baik adalah ≥ 18 dB. Tabel 5 merupakan data hasil rekap statistik, diperoleh nilai C/I yang paling baik adalah 21,2 dB *uplink* dengan luas 282 km² dan 21,2 dB *downlink* dengan luas 744 km². Dengan mendapatkan hasil simulasi C/I, dilakukan validasi terhadap perhitungan yang ada pada persamaan (12), perhitungan tersebut didapat nilai C/I sebesar 32 dB *downlink* dan 28 dB *uplink*. Dari uraian di atas dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai C/I pada hasil



Gambar 3. Carrier to Interference

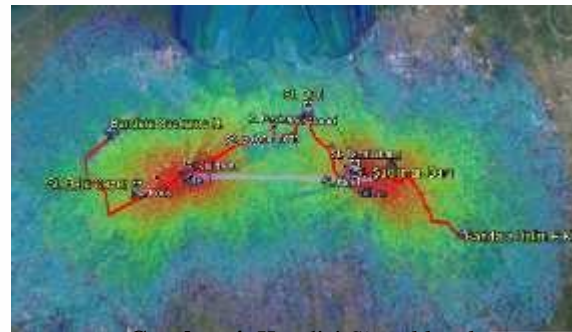
simulasi mendekati hasil perhitungan yaitu 66,25% *downlink* dan 75,71% *uplink*. Hal ini membuktikan bahwa perencanaan berdasarkan C/I pada daerah Kereta Bandara Soeta–Halim cukup baik.

Tabel 5 Data Hasil Simulasi C/I

Legend	Downlink			Uplink		
	Min	Max	Luas (km ²)	Min	Max	Luas (km ²)
C/I Level (dB) ≥18	18	21,2	744	18	21,2	288
C/I Level (dB) ≥15	15,2	18	186	15,2	18	96
C/I Level (dB) ≥12	12	15,2	170	12	15,2	144
C/I Level (dB) ≥9	9,2	12	62	9,2	12	192
C/I Level (dB) ≥6				6	9,2	192
C/I Level (dB) ≥3				3,2	6	146
C/I Level (dB) ≥0				0	3,2	75
C/I Level (dB) ≥-3						

3.2 Kondisi berdasarkan kualitas *signal level*

Perencanaan ini dilakukan estimasi sinyal terima paling rendah sebesar -106 dBm sesuai dengan spesifikasi perangkat yang digunakan untuk wilayah jalur Kereta Bandara Soeta–Halim. Hasil simulasi Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh daerah Kereta Bandara Soeta–Halim dapat dicakup oleh sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter* level sinyal terima minimum -95 dBm. Hal ini diperoleh dengan cara menempatkan setiap *site* pada posisi strategis dengan mempertimbangkan luas cakupan *site*. Tabel 6 merupakan data hasil rekap statistik yang menunjukkan hubungan antara sinyal level dengan luas daerah yang dicakup oleh pancaran sinyal dari *transmitter*. Daerah hasil perhitungan statistik diperoleh bahwa kuat sinyal rata-rata untuk seluruh daerah adalah -65,79 dBm untuk *uplink* dan -54,45 dBm untuk *downlink* dengan standar deviasi -39,29 dBm *uplink* dan -27,95 dBm *downlink*. Dari hasil simulasi level sinyal, dilakukan validasi terhadap perhitungan persamaan (7). Perhitungan tersebut didapat nilai RSL sebesar -103 dBm untuk *downlink* dan -97,85 dBm untuk *uplink*. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa nilai level sinyal pada hasil simulasi lebih baik dibandingkan perhitungan. Hal ini karena perencanaan berdasar level sinyal layak untuk diimplementasikan pada Kereta Bandara Soeta–Halim. Karena pada daerah tersebut berada pada kualitas level sinyal yang baik dari sepanjang jalur Kereta Bandara dan level sinyal terima minimum memenuhi standar Referensi Sensitivitas perangkat yang digunakan pada perencanaan ini.



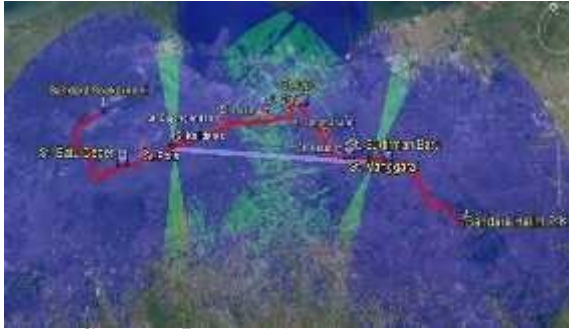
Gambar 4. Kondisi *Signal level*

Tabel 6 Data Hasil Simulasi *Signal Level*

Legend	Downlink			Uplink		
	Min	Max	Luas (km ²)	Min	Max	Luas (km ²)
Best Signal Level (dBm) ≥-70	-70	-65	46	-70	-65	21
Best Signal Level (dBm) ≥-75	-75	-70	30	-75	-70	15
Best Signal Level (dBm) ≥-80	-80	-75	69	-80	-75	21
Best Signal Level (dBm) ≥-85	-85	-80	95	-85	-80	42
Best Signal Level (dBm) ≥-90	-90	-85	161	-90	-85	63
Best Signal Level (dBm) ≥-95	-95	-90	276	-95	-90	84
Best Signal Level (dBm) ≥-100	-100	-95	253	-100	-95	130
Best Signal Level (dBm) ≥-105	-105	-100	69	-105	-100	252

3.3 Kondisi berdasarkan *Overlapping Zone*

Hasil simulasi ini menunjukkan daerah yang memiliki sel yang saling beririsan satu sama lain. Jika terlalu banyak daerah yang beririsan memungkinkan daerah tersebut rawan terjadi *pingpong hand over* yang mengakibatkan terjadinya *dropcall*. Gambar 5 menunjukkan daerah yang saling beririsan diketahui maksimal ada 3 sel yang saling *overlapping* dengan luas yang relatif kecil. daerah yang menjadi perhitungan merupakan luas daerah yang dicakup oleh pancaran sinyal dari *transmitter*. Tabel 7 merupakan data hasil rekap statistik diperoleh *Mean* sebesar 1,12, hal ini berarti tiap daerah rata-rata dicakup 1 hingga 2 *site*. Berdasarkan data tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa kemungkinan terjadi *pingpong handover* atau *handover* yang berulang-ulang yang menyebabkan terjadinya *dropcall* kecil dan perencanaan *overlapping zone* baik untuk diimplementasikan.



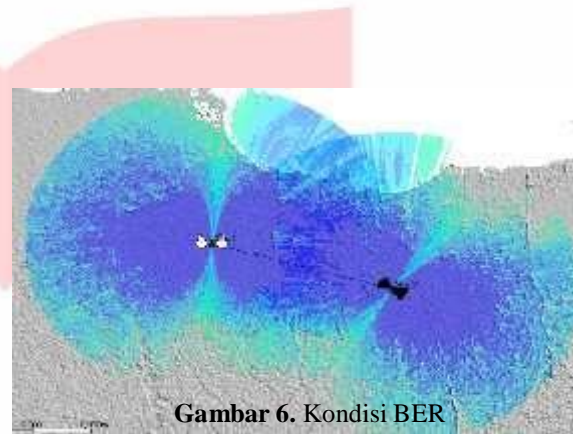
Gambar 5. Kondisi *Overlapping Zone*

Tabel 7 Data Hasil Simulasi *Overlapping Zone*

Legend	Min	Max	Luas (km ²)
Number of Servers ≥ 4			
Number of Servers ≥ 3			
Number of Servers ≥ 2	2	3	152
Number of Servers ≥ 1	1	2	912

3.4 Kondisi berdasarkan BER

Simulasi ini menunjukkan kondisi *Bit Error Rate* (BER) wilayah Kereta Bandara. Kondisi BER merupakan perbandingan jumlah bit yang gagal terhadap total bit yang ditransmisikan. Gambar 6 menunjukkan kualitas BER daerah yang dicakup sebagian besar daerah termasuk jalur Kereta Bandara. Area ini tertutup oleh warna biru tua dan bergradasi biru muda. Hal ini berarti rentang BER untuk daerah yang dicakup adalah $0 \leq BER < 9 \times 10^{-5}$. Pada Tabel 8 juga menunjukkan $BER < 3 \times 10^{-5}$ yang lebih dominan, dimana sepanjang jalur Kereta Bandara memasuki kondisi BER tersebut. Dengan mendapatkan hasil simulasi BER, dilakukan validasi terhadap perhitungan



Gambar 6. Kondisi BER

yang ada pada persamaan (13), perhitungan tersebut didapat nilai BER sebesar 3×10^{-5} . Dari uraian di atas dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai BER pada hasil perhitungan sama. Hal ini membuktikan bahwa kemungkinan teradanya pengiriman bit yang gagal pada saat transmisi kecil dan perencanaan *Bit Error Rate* pada Riset ini dapat diimplementasikan.

Tabel 8 Data Hasil Simulasi BER

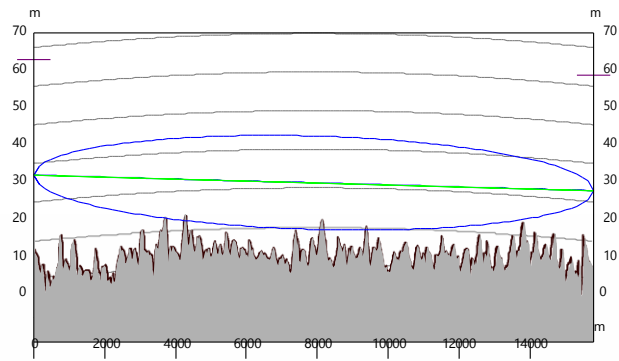
Legend	Min	Max	Luas (km ²)
$BER \geq 3 \times 10^{-5}$			
$2,4 \times 10^{-4} \leq BER < 2,71 \times 10^{-4}$			
$2,1 \times 10^{-4} \leq BER < 2,4 \times 10^{-4}$			
$1,8 \times 10^{-4} \leq BER < 2,1 \times 10^{-4}$			
$1,5 \times 10^{-4} \leq BER < 1,81 \times 10^{-4}$			
$1,2 \times 10^{-4} \leq BER < 1,5 \times 10^{-4}$			
$9 \times 10^{-5} \leq BER < 1,2 \times 10^{-4}$	9×10^{-5}	$1,2 \times 10^{-4}$	136
$6 \times 10^{-5} \leq BER < 9 \times 10^{-5}$	6×10^{-5}	9×10^{-5}	300
$3 \times 10^{-5} \leq BER < 6 \times 10^{-5}$	3×10^{-5}	6×10^{-5}	306
$10^{-3} \leq BER < 3 \times 10^{-5}$	10^{-3}	3×10^{-5}	408

3.5 Fresnel Zone

Pada simulasi ini dilihat adanya gangguan *obstacle* terhadap sinyal yang dipancarkan. Gangguan terhadap sinyal yang dipancarkan menyebabkan refraksi, difraksi dan refleksi yang akhirnya melemahkan sinyal yang diterima. Sebelum dilakukan simulasi, asumsi nilai tinggi antenna 20 m. Setelah dilakukannya perhitungan, tinggi antenna dipasang untuk *Link microwave Site 1 – Site 2* dengan frekuensi 8 GHz.

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi *fresnel zone* untuk *link site 1 – site 2*. Terlihat bahwa lingkaran *fresnel* sedikit menyentuh *obstacle* pada jarak 4255,7 m dan 8151,9 m. Dari hasil simulasi pada *software* diketahui *fresnel* radius 10,72 m dan 12,08 m dengan *clearance* 9,06 m dan 9,17 m. Setelah dihitung melalui perhitungan *clearance factor* dari persamaan (15), $C = 0,6 \times 10,72 = 6,432$ dan $C = 0,6 \times 12,08 = 7,248$. Dari hasil perhitungan

tersebut dapat diketahui bahwa batas minimum *clearance* dari dua *obstacle* yang menyentuh lingkaran *fresnel* adalah 6,432 dan 7,248. Oleh karena itu, *clearance* yang diketahui pada hasil simulasi tidak menjadi masalah karena masih berada dalam rentang faktor *clearance fresnel zone*, sehingga hasil analisis menyimpulkan bahwa *Quality objectives* dan *Availability objectives* baik, serta sinyal yang diterima juga baik dan tidak membutuhkan penambahan tinggi antena.



Gambar 7. Fresnel Zone Site 1- Site 2

4. Kesimpulan

Perencanaan TETRA menggunakan metode *planning based on capacity* dan *planning based on coverage* yang pada Stasiun Soeta-Halim sejauh 43,9 km telah dilakukan. Diperoleh pengguna TETRA sebanyak 30 *user* dan membutuhkan 2 buah *site* dengan radius 16,938 km untuk *downlink* dan 15,821 km untuk *uplink* dengan lokasi *plotting* pada daerah St. Kalideres dan St. Sudirman Baru. Dihasilkan sinyal terima paling rendah sebesar -95 dBm, BER sebesar 3×10^{-5} , *mean number of server overlapping zone* sebesar 1,12 dan C/I paling baik adalah ≥ 18 dB. Pada sisi *backhaul* tidak terdapat *link* yang mengalami pelemahan sinyal terima, dan memenuhi batas *clearance*. Pada hasil simulasi ini dilakukan validasi terhadap perhitungan dan didapat kedua hasil tersebut berada dalam rentang nilai yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas *voice* yang dibutuhkan TETRA sangat baik, dan jumlah *site* yang sedikit dan tidak terjadi pelemahan sinyal terima di sisi *user* membuat Jalur Kereta Bandara yang menjadi riset ini dapat tercakupi dengan baik.

Daftar Pustaka:

- [1] Data Hasil Wawancara PT. Kereta Api DAOP 2 [24 April 2016]
- [2] Primananda, R., Djanali, S., dan Shiddiqi, A. M.. 2014. *Analisis Kualitas Layanan Sistem Komunikasi TETRA pada Kereta Api Indonesia*. Surabaya : Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] TETRA. [t.th.] *TETRA Standard* [Online] Available at: <http://www.tandcca.com/about/page/12320> [Accessed 5 Agustus 2015]
- [4] Mishra, A. R.. 2006. *Advanced Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G Evolution to 4G*. John Wiley & Sons
- [5] Motorola Solution. 2010. *MTS4 TETRA Base Station*. [Online] Available at: http://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/product_lines/dimetra_tetra/infrastructure/tetra_base_stations/mts4/_documents/_static_files/4_jun_2010_mts4_400_datashet_3_.pdf http://www.motorolasolutions.com/en_xp/products/dimetra-tetra/infrastructure/tetra-base-stations/mts4.html [Accessed 2 September 2015]
- [6] ETSI. 1997. *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 1: Overview, technical description and radio aspects*. ETSI EP-TETRA
- [7] EUPEN. 2011. *Radiating Cables*. [Online] Available at: <https://www.eupen.us/mm5/Radiating-2011.pdf> [Accessed 23 Juni 2016]
- [8] Skymasts Antennas Ltd. 2013. *TETRA Antennas and Accessories Product Catalogue*. [Online] Available at: http://www.skymasts.com/_uploads/40/skymasts_tetra_antenna_product_catalogue_2013.pdf [Accessed 23 Juni 2016]
- [9] Nurjihad S., Mulyana A., dan Riza T. A.. 2014. *Planning TETRA Dinas Kepolisian Polrestabes Wilayah Bandung*. Bandung : Universitas Telkom
- [10] Materi Perkuliahan Siskomsel. 2012. *Wireless Communications System*. Bandung : Universitas Telkom
- [11] Freeman, R. L.. 1987. *Radio System Design For Telecommunications (1-100 GHz)*. Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Dhamayanti Y., Mahmudah H., dan Adi N. S.. 2012. *Analisa Interferensi Antar Base Transceiver Station Pada Link Komunikasi Point to Point*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS Sukolilo Surabaya.