

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Kereta Cepat Indonesia-China (KCIC) adalah proyek infrastruktur transportasi strategis yang menghubungkan Jakarta dan Bandung. Jalur sepanjang 142,3 km ini melintasi berbagai kondisi geografis, termasuk area yang memerlukan konstruksi *tunnel*. Salah satu bagian krusial dari jalur KCIC adalah *tunnel* whoosh yang menghubungkan stasiun Padalarang dan Halim. Permasalahan utama yang dihadapi adalah tidak adanya sinyal komunikasi yang memadai di dalam *tunnel* whoosh.

Timestamp	Longitude	Latitude	OperatorName	Mobile	CellId	TA	NetworkTech	Level	Qmi	SNR	QV	UESS	EventName	EventDetail	Status
2024.10.03 11.14.1	107470829	-6814582	Telkomsel	431081	13	2008	4G	-95	-13	17.0	-	-59	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149099-31-1850-99-510-10-2008-431081-13-500-96	D
2024.10.03 11.14.1	107470829	-6814582	Telkomsel	431081	13	2008	4G	-94	-11	17.0	-	-63	CALL_START	510-10-2008-431081-13-VOICE SEQUENCE:1	I
2024.10.03 11.14.2	107470829	-6814582	Telkomsel	431081	13	2008	4G	-92	-12	14.0	-	-59	CALL_END	510-10-2008-431081-13-VOICE SEQUENCE:1	V
2024.10.03 11.14.2	107470829	-6814582	Telkomsel	149250	23	2008	4G	-99	-14	-1.0	-	-61	HANDOVER_VOICE_4G4G	510-10-2008-431081-13-500-96-510-10-2008-149250-23-500-145	V
2024.10.03 11.14.3	107470829	-6814582	Telkomsel	149250	23	2008	4G	-102	-16	-1.0	-	-61	CALL_START	510-10-2008-149250-23-VOICE SEQUENCE:2	D
2024.10.03 11.14.3	107470829	-6814582	Telkomsel	149250	33	2008	4G	-101	-14	-1.0	-	-61	HANDOVER_VOICE_4G4G	510-10-2008-149250-23-500-145-510-10-2008-149250-33-500-141	VD
2024.10.03 11.14.3	107470829	-6814582	Telkomsel	149250	33	2008	4G	-103	-14	-1.0	-	-69	CALL_END	510-10-2008-149250-33-VOICE SEQUENCE:2	VD
2024.10.03 11.14.4	107470829	-6814582	Telkomsel	431081	33	2008	4G	-123	-20	-2.0	-	-77	HANDOVER_VOICE_4G4G	510-10-2008-149250-33-500-146-510-10-2008-431081-33-500-98	V
2024.10.03 11.14.4	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-122	-16	-2.0	-	-85	CELL_RESELECTION_4G4G	510-10-2008-431081-33-500-98-510-10-2008-149110-13-500-351	I
2024.10.03 11.14.4	107470829	-6814582	Telkomsel	431024	13	2008	4G	-118	-17	-2.0	-	-77	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149110-13-500-351-510-10-2008-431024-13-500-41	D
2024.10.03 11.14.4	107470829	-6814582	Telkomsel	431024	13	2008	4G	-118	-17	-2.0	-	-77	CALL_START	510-10-2008-431024-13-VOICE SEQUENCE:3	D
2024.10.03 11.14.5	107470829	-6814582	Telkomsel	431024	13	2008	4G	-94	-13	5.0	-	-61	CALL_BLOCK	510-10-2008-431024-13-VOICE SEQUENCE:3	I
2024.10.03 11.15.0	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-109	-10	6.0	-	-81	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-431024-13-500-411-510-10-2008-149110-13-500-35	D
2024.10.03 11.15.1	107470829	-6814582	NO COVERAGE	-1	-	-	-	-200	-9	-	-	-	NO COVERAGE		D
2024.10.03 11.15.1	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-120	-15	18.0	-	-81	IN COVERAGE		D
2024.10.03 11.15.1	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-120	-15	18.0	-	-81	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149110-13-500-351	D
2024.10.03 11.15.2	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	12	2008	4G	-103	-14	8.0	-	-69	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149110-13-500-351-510-10-2008-149110-12-3500-3	I
2024.10.03 11.15.2	107470829	-6814582	Telkomsel	431025	23	2008	4G	-120	-15	5.0	-	-85	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149110-12-3500-351-510-10-2008-431025-23-500-2	D
2024.10.03 11.15.2	107470829	-6814582	Telkomsel	431025	23	2008	4G	-115	-16	4.0	-	-71	START PING		I
2024.10.03 11.15.2	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-99	-9	4.0	-	-71	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-431025-23-500-280-510-10-2008-149110-13-500-35	D
2024.10.03 11.15.3	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-340	-	4.0	-	-89	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149110-13-500-351-510-10-2008-149110-13-1850-2	D
2024.10.03 11.15.3	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-340	-	4.0	-	-89	START UPLOAD		D
2024.10.03 11.15.5	107470829	-6814582	Telkomsel	149110	13	2008	4G	-340	-	4.0	-	-89	START DOWNLOAD		D
2024.10.03 11.15.5	107470829	-6814582	NO COVERAGE	-1	-	-	-	-200	-	-	-	-	NO COVERAGE		D
2024.10.03 11.16.0	107470829	-6814582	Telkomsel	149100	33	2008	4G	-110	-13	1.0	-	-77	IN COVERAGE		D
2024.10.03 11.16.0	107470829	-6814582	Telkomsel	149100	33	2008	4G	-110	-13	1.0	-	-77	CELL_RESELECTION_4G4G	510-10-2008-149100-33-500-248	D
2024.10.03 11.16.1	107470829	-6814582	Telkomsel	149100	64	2008	4G	-114	-9	5.0	-	-75	CELL_RESELECTION_4G4G	510-10-2008-149100-33-500-248-510-10-2008-149100-64-38750-1	I
2024.10.03 11.16.3	107470829	-6814582	Telkomsel	431020	21	2008	4G	-116	-20	-6.0	-	-71	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-149100-64-38750-414-510-10-2008-431020-21-1850	D
2024.10.03 11.16.3	107470829	-6814582	51010	149131	11	2008	4G	-102	-13	-6.0	-	-69	HANDOVER_DATA_4G4G	510-10-2008-431020-21-1850-226-510-10-2008-149131-11-1850-2	I
2024.10.03 11.16.5	107470829	-6814582	NO COVERAGE	-1	-	-	-	-200	-20	-	-	-	NO COVERAGE		I
2024.10.03 11.17.2	107470829	-6814582	51022	27	8961	2G	-	-95	-	-	-	-	IN COVERAGE		I
2024.10.03 11.17.2	107470829	-6814582	51022	27	8961	2G	-	-95	-	-	-	-	IRAT_HANDOVER_DATA_4G2G	510-10-2008-149110-13-500-351-510-10-2008-149110-13-500-351	I
2024.10.03 11.18.0	107470829	-6814582	51022	27	8961	2G	-	-105	-	-	-	-	START PING		I
2024.10.03 11.18.0	107470829	-6814582	51022	27	8961	2G	-	-105	-	-	-	-	START UPLOAD		I
2024.10.03 11.18.3	107470829	-6814582	51010	20016	1108	2G	-	-105	-	-	-	-	HANDOVER_DATA_2G2G	510-22-8961-27-10-42-510-10-1106-20016-784-3	I

Gambar 1.1 Hasil Drive Test

Pada 3 Oktober 2024, kami melakukan *drive test* untuk mengukur performansi jaringan pada perjalanan menggunakan whoosh dari stasiun padalarang sampai dengan stasiun halim. Selama perjalanan tersebut memiliki keterbatasan komunikasi seluler khususnya saat melintasi 13 *tunnel*. *Tunnel* ini menghadirkan tantangan teknis yang signifikan dalam hal komunikasi *wireless*. Berdasarkan hasil *drive test* pada Gambar 1.1 menunjukkan tantangan signifikan pada kualitas jaringan, terutama saat melewati 13 *tunnel*. Berdasarkan hasil data tersebut, sinyal hilang sepenuhnya ditandai dengan *EventType "No_Coverage"*, dengan parameter RSRP turun hingga -200 dBm dan SNR mendekati -2.0, menandakan tidak adanya koneksi yang dapat diandalkan untuk melakukan komunikasi. Perubahan teknologi jaringan seperti *handover* dari 4G ke 2G juga terjadi karena melalui daerah sinyal lemah. Hasil data tersebut membuktikan bahwa pada kecepatan tinggi dan melewati beberapa *tunnel* whoosh terdapat level RSRP (*Reference*

Signal Received Power) diatas -110 yang berarti jaringan didapat sangat buruk. Pada level RSRP -110 hingga -140 menunjukkan kualitas jaringan sangat buruk hingga menghasilkan *Event Type No Coverage*. Oleh karena itu, perancangan sistem komunikasi nirkabel yang efektif di *tunnel whoosh* menjadi kebutuhan mendesak dalam pengembangan KCIC. Sistem ini harus mampu mengatasi tantangan fisik yang ada dan menjamin konektivitas yang stabil sepanjang perjalanan. Upaya ini tidak hanya akan mendukung kesuksesan operasional KCIC, tetapi juga memperkuat posisinya sebagai proyek infrastruktur transportasi yang canggih dan berorientasi masa depan.

1.2 Analisis Masalah

Perancangan komunikasi *wireless* di *tunnel whoosh* menghadapi berbagai tantangan kompleks yang saling terkait seperti, aspek infrastruktur serta aspek operasional dan Keamanan.

1.2.1 Aspek Infrastruktur

Aspek Infrastruktur jaringan komunikasi di *tunnel whoosh* menghadapi tantangan teknis yang kompleks. Hasil *drive test* mengungkapkan gangguan sinyal total yang ditandai dengan *EventType No_Coverage*, di mana parameter teknis jaringan mengalami penurunan drastis. Penurunan RSRP hingga -200 dBm dan SNR mendekati -2.0 menunjukkan ketidakmampuan jaringan seluler untuk memberikan konektivitas handal. Fenomena *handover* dari 4G ke 2G yang tidak efisien memperburuk kualitas komunikasi, mengindikasikan kelemahan mendasar dalam arsitektur jaringan eksisting yang tidak dirancang untuk lingkungan geografis dan kecepatan tinggi seperti pada jalur kereta cepat.

1.2.2 Aspek Kenyamanan Pengguna Internet

Gangguan komunikasi di *tunnel whoosh* berdampak langsung pada kenyamanan penumpang yang mengandalkan koneksi internet selama perjalanan. Putusnya sinyal di dalam terowongan menyebabkan layanan digital seperti komunikasi daring, streaming, dan akses data berbasis *cloud* menjadi terganggu, bahkan tidak dapat digunakan sama sekali. Hal ini menurunkan kualitas pengalaman perjalanan, terutama bagi penumpang yang bekerja secara mobile atau mengandalkan hiburan digital. Oleh karena itu, sistem komunikasi *wireless* yang stabil dan merata menjadi kebutuhan

penting untuk memastikan kenyamanan penumpang dan meningkatkan citra layanan kereta cepat sebagai transportasi modern berbasis konektivitas.

1.3 Tujuan Capstone

Tujuan dalam penulisan dan pengembangan perancangan komunikasi wireless di *tunnel* Whoosh untuk jalur stasiun Padalarang - Halim ini, yaitu :

1. Merancang sistem komunikasi *wireless* yang memenuhi *Key Performance Indicator* (KPI) untuk *tunnel* whoosh dari stasiun Padalarang ke stasiun Halim, dengan mempertimbangkan tantangan khusus pada lingkungan bawah tanah seperti redaman sinyal dan interferensi.
2. Menganalisis dan memilih teknologi nirkabel yang paling tepat dan merencanakan penempatan peralatan untuk memaksimalkan jangkauan sinyal dan meminimalkan zona mati pada *tunnel* whoosh.

1.4 Batasan Tugas Akhir

Dalam pelaksanaan Perancangan Komunikasi *Wireless* di *Tunnel* Whoosh Untuk Stasiun Padalarang – Halim, penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup dan parameter sebagai berikut:

1. Wilayah Perencanaan

Penelitian ini hanya mencakup perancangan sistem komunikasi *wireless* di Tunnel Whoosh yang beradad di jalur Stasiun Padalarang hingga Stasiun Halim. Ruang lingkup tidak mencakup area Stasiun Whoosh Tegalluar.

2. Teknologi yang Digunakan

Penelitian ini hanya membahas perancangan sistem komunikasi wireless menggunakan teknologi *Leaky Feeder*. Teknologi lain seperti *Distributed Antenna System* (DAS) dan Repeater tidak termasuk dalam ruang lingkup pembahasan maupun implementasi penelitian ini.

3. Parameter Perancangan

Parameter yang digunakan mencakup RSRP, RSRQ, RSSI, SINR, dan *Throughput* pada jaringan LTE 1800 MHz, yang mengacu pada standar 3GPP TS 36.101 *User Equipment* (UE) *radio transmission and reception*, 3GPP TS 36.104 *Base Station* (eNodeB) *Radio Transmission and Reception*, 3GPP TS 36.133 *Requirements for Support of Radio Resource Management*. Selain itu, acuan standar lain yang digunakan adalah dan

Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 7 Tahun 2021 tentang penggunaan spektrum frekuensi radio.

4. *Bill of Quantity* (BoQ)

Perhitungan BoQ bersifat estimasi awal, terbatas pada perangkat utama seperti kabel *leaky feeder*, *repeater*, *antenna*, dan perangkat pendukung lainnya. Perhitungan ini hanya mencakup aspek CAPEX, OPEX, dan *Revenue*.

1.5 Analisa Solusi yang Ada

Saat ini KCIC bekerja sama dengan Telkomsel mengaplikasikan GSM-R pada proyek strategis nasional Kereta Cepat Indonesia China. GSM-R (*Global System for Mobile Communications - Railway*) adalah teknologi komunikasi berbasis GSM (2G) yang dirancang khusus untuk kebutuhan operasional dan keselamatan kereta api, dengan sejumlah spesifikasi teknis yang mendukung performanya. GSM-R beroperasi pada frekuensi khusus yaitu 891– 895 MHz untuk uplink dan 936–940 MHz untuk downlink, memastikan interferensi minimal dengan jaringan seluler lainnya. Sistem ini memiliki lebar pita kanal sebesar 200 kHz dan menggunakan teknik modulasi GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) untuk transmisi data yang andal. Kecepatan transfer datanya mencapai 9,6 kbps per kanal, yang cukup untuk komunikasi suara berkualitas tinggi dan pengiriman data sinyal kereta. Selain itu, GSM-R mendukung fitur seperti panggilan grup, panggilan prioritas, dan addressing berbasis lokasi, dengan standar keamanan tingkat tinggi untuk memastikan komunikasi tetap aman.

Dengan infrastruktur yang mencakup BTS khusus sepanjang jalur rel, perangkat onboard, dan pusat kontrol radio (RCC), GSM-R mampu memberikan jangkauan komunikasi hingga 7-10 km per BTS. Teknologi ini dirancang untuk mendukung kecepatan kereta hingga 500 km/jam tanpa gangguan sinyal, sehingga sangat cocok untuk aplikasi di kereta cepat seperti Kereta Cepat Jakarta-Bandung.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komunikasi *Wireless* di Terowongan

Komunikasi *wireless* di terowongan memiliki tantangan tersendiri karena karakteristik lingkungan bawah tanah yang tertutup dan dikelilingi oleh material padat seperti beton dan logam. Salah satu tantangan utama adalah penurunan kualitas sinyal yang signifikan akibat *fading*, *noise*, dan interferensi. Penelitian oleh Niaz et al. (2020) menunjukkan bahwa komunikasi nirkabel di terowongan membutuhkan solusi yang dapat mengatasi masalah propagasi sinyal dalam kondisi terhalang oleh struktur fisik.

2.2 *Leaky Feeder System*

Leaky feeder system adalah teknologi yang digunakan untuk mengatasi gangguan sinyal di area tertutup seperti terowongan, jalur kereta bawah tanah, atau bangunan industri. Teknologi ini menggunakan kabel khusus dengan lubang-lubang kecil sepanjang kabel yang memungkinkan sinyal radio "bocor" secara merata di sepanjang jalur. Sistem ini sangat efektif dalam memberikan cakupan sinyal yang konsisten meskipun ada banyak hambatan fisik. Menurut penelitian oleh A. Pantelopoulos et al. (2010), *leaky feeder* dapat mendukung berbagai jenis komunikasi, termasuk data, suara, dan video.

2.3 *Distributed Antenna System (DAS)*

Distributed Antenna System (DAS) adalah solusi lain yang digunakan untuk memperkuat dan mendistribusikan sinyal komunikasi di area luas, termasuk terowongan. Sistem ini menghubungkan beberapa antena yang tersebar di sepanjang terowongan dengan unit pemrosesan pusat melalui kabel serat optik. DAS mampu menyediakan cakupan sinyal yang luas dan mengurangi interferensi, tetapi memerlukan perencanaan yang hati-hati terkait penempatan antena dan pengaturan daya untuk memastikan efisiensi sistem.

2.4 Pengukuran dan Kualitas Sinyal

Kualitas sinyal mengacu pada kemampuan sistem komunikasi untuk menyediakan sinyal yang kuat, stabil, dan berkualitas sepanjang area tunnel.

Kriteria ini sangat penting dalam desain komunikasi *wireless*, terutama di lingkungan yang penuh tantangan seperti *tunnel*, di mana dinding beton, jarak, dan pantulan sinyal dapat mengurangi performa sistem. Menurut standar 3GPP, penggunaan parameter ini sangat penting dalam menilai kualitas komunikasi di lingkungan terowongan yang rentan terhadap interferensi dan multipath. Untuk menilai kualitas sinyal secara komprehensif, digunakan lima parameter utama, yaitu RSRP, RSRQ, RSSI, SINR, dan *Throughput*.

2.4.1 RSRP (*Reference Signal Received Power*)

RSRP adalah metrik yang mengukur kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh perangkat. Parameter ini memberikan gambaran tentang daya rata-rata sinyal referensi yang diterima pada setiap subcarrier dalam *bandwidth* jaringan. RSRP dihitung menggunakan rumus berikut:

$$RSRP = RSSI - 10 \log(12 * N) \quad (2.1)$$

Keterangan :

RSSI : *Received Signal Strength Indicator* (dBm)

N : *Number of Resource Block*

RSRP yang ideal untuk komunikasi yang stabil berada di atas -100 dBm. Nilai ini memastikan bahwa sinyal yang diterima cukup kuat untuk mendukung komunikasi tanpa gangguan. RSRP digunakan untuk menilai apakah kekuatan sinyal cukup untuk menjangkau seluruh area *tunnel*. Dalam desain jaringan untuk tunnel, RSRP menjadi acuan utama untuk mengetahui area yang membutuhkan penguat sinyal tambahan, seperti *repeater* atau antena tambahan.

2.4.2 RSRQ (*Reference Signal Received Quality*)

RSRQ adalah metrik kualitas sinyal yang mempertimbangkan interferensi dan noise dalam lingkungan jaringan. Parameter ini mengombinasikan informasi dari RSRP dengan total kekuatan sinyal (RSSI) yang diterima, memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kualitas sinyal di area tertentu. Rumus untuk menghitung RSRQ adalah:

$$RSRQ = \frac{RSRP}{\left(\frac{RSSI}{N}\right)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

N : Jumlah *resource blocks* yang digunakan dalam bandwidth.

RSSI : Total kekuatan sinyal yang diterima, termasuk *noise* dan interferensi yang hadir dalam *bandwidth*.

RSRQ yang ideal berada di atas -15 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal cukup baik untuk mendukung komunikasi tanpa terlalu banyak gangguan akibat interferensi. RSRQ sangat penting dalam lingkungan seperti tunnel, di mana pantulan sinyal, dinding beton, dan struktur fisik lainnya dapat meningkatkan

2.4.3 RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)

RSSI adalah indikator yang mengukur kekuatan total sinyal yang diterima dalam bandwidth tertentu. Berbeda dengan RSRP, RSSI mencakup seluruh sinyal yang diterima, termasuk interferensi, *noise*, dan sinyal dari *resource blocks* lainnya.

$$RSSI = RSRP + 10 \log(12 * N) \quad (2.3)$$

Nilai RSSI yang lebih tinggi cenderung menunjukkan kekuatan sinyal yang lebih baik. RSSI memberikan gambaran tentang kekuatan total sinyal, tetapi tidak dapat langsung menunjukkan kualitas sinyal seperti yang dilakukan RSRQ. Parameter ini digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi kekuatan sinyal secara keseluruhan, termasuk dampak interferensi dan *noise*.

2.4.4 SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*)

SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) adalah parameter kunci lainnya yang mengukur rasio antara kekuatan sinyal yang diinginkan dengan total interferensi dan *noise*. SINR dihitung menggunakan rumus:

$$SINR = \frac{S}{I+N} \quad (2.4)$$

Unit SINR adalah dB dengan nilai ideal bervariasi tergantung teknologi jaringan, namun umumnya diatas 20 dB untuk komunikasi yang baik. SINR penting untuk mengevaluasi kejelasan sinyal di Tengah interferensi tinggi yang sering terjadi di lingkungan terowongan.

2.4.5 Throughput

Throughput merupakan ukuran kapasitas jaringan untuk mentransmisikan data. Throughput dipengaruhi oleh semua parameter sebelumnya, termasuk RSRP, RSRQ, RSSI, dan SINR. Nilai *throughput* yang tinggi menunjukkan efisiensi jaringan dalam mentransfer data. Dalam sistem komunikasi di terowongan, *throughput* yang tinggi memastikan transmisi data *real-time*, seperti *video call*, komunikasi suara, dan *video streaming*.

2.5 Tantangan Implementasi di Terowongan

Implementasi sistem komunikasi *wireless* di terowongan juga menghadapi berbagai tantangan praktis, seperti penempatan perangkat komunikasi, optimisasi jaringan, serta biaya infrastruktur. Berdasarkan penelitian oleh Li et al. (2013), penting untuk mempertimbangkan biaya pemasangan, pemeliharaan, serta efisiensi penggunaan spektrum frekuensi dalam merancang sistem komunikasi untuk area tertutup.

2.6 Peraturan dan Standar Internasional

Dalam merancang sistem komunikasi nirkabel, penting untuk mengacu pada standar internasional dan peraturan lokal yang berlaku, seperti yang ditetapkan oleh 3GPP dan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

2.7 Forecasting Pengguna Operator

Forecasting jumlah pengguna operator seluler merupakan proses estimasi jumlah pelanggan yang akan menggunakan layanan dari suatu operator dalam periode waktu tertentu di masa depan. Proses ini penting dalam kegiatan perencanaan jaringan (*network planning*), pengalokasian kapasitas, serta estimasi kebutuhan infrastruktur oleh penyedia layanan seluler.

Salah satu pendekatan dasar dalam melakukan *forecasting* pengguna adalah dengan mengacu pada data demografis seperti jumlah penduduk dan rasio penetrasi pelanggan. Rumus umum yang digunakan adalah:

$$\frac{\text{jumlah customer}}{\text{jumlah penduduk total}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Rumus ini memberikan informasi mengenai proporsi populasi yang telah menjadi pengguna layanan seluler pada wilayah tertentu. Nilai TPR ini dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah pelanggan di masa depan berdasarkan proyeksi pertumbuhan penduduk.

Selanjutnya, untuk memperkirakan jumlah pengguna dari operator tertentu, digunakan pendekatan berdasarkan market share. Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{jumlah user } (t_{sel}) = \text{jumlah user} \times \text{market share} \quad (2.6)$$

Dengan demikian, apabila total pengguna seluler di suatu daerah telah diketahui, maka jumlah pengguna dari satu operator tertentu dapat dihitung berdasarkan pangsa pasar operator tersebut. Perhitungan ini sangat bermanfaat untuk analisis kapasitas, *coverage planning*, serta evaluasi kebutuhan spektrum dan infrastruktur jaringan.

2.8 Capacity Planning

Capacity planning merupakan suatu perencanaan dalam membangun jaringan di suatu wilayah tertentu dengan objek berupa jumlah user yang ada di suatu daerah. *Capacity Planning* bertujuan untuk menentukan *site* atau *antenna* yang dibutuhkan atau sesuai dengan jumlah *user* dengan jumlah *traffic* yang ada pada daerah yang ditinjau, dimana dalam hal ini daerah yang ditinjau adalah *tunnel* whoosh untuk stasiun padalarang-halim.

2.8.1 Service Model

Service model adalah cara memberikan layanan kepada *customer* sesuai dengan kebutuhan customer. Pada Gambar merupakan jenis-jenis model layanan pada jaringan LTE yang tersedia.

Tabel 2.1 *Service Model* LTE

Traffic Parameter	Uplink				Downlink				UL Throughput/ Session (Kbps)	DL Throughput/ Session (Kbps)
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Daily Ratio	BLER (%)	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Daily Ratio	BLER (%)		
VoIP	26,9	80	0,4	1%	26,9	80	0,4	1%	869,4949495	869,4949495
Video Phone	62,53	70	1	1%	62,53	70	1	1%	4421,313131	4421,313131
Video Conference	62,53	1800	1	1%	62,53	1800	1	1%	113690,9091	113690,9091
Real Time Gaming	62,53	1800	0,2	1%	62,53	1800	0,2	1%	11367,27273	11367,27273
Streaming Media	31,26	3600	0,05	1%	31,26	3600	0,05	1%	5863,636364	5863,636364
IMS Signalling	15,63	7	0,2	1%	15,63	7	0,2	1%	22,1030303	22,1030303
Web Browsing	62,53	1800	0,05	1%	62,53	1800	0,05	1%	5684,545455	5684,545455
File Transfer	140,69	600	1	1%	140,69	600	1	1%	85266,66667	85266,66667
Email	140,69	50	1	1%	140,69	50	1	1%	7105,555556	7105,555556
P2P File Sharing	250,11	1200	1	1%	250,11	1200	1	1%	303163,6364	303163,6364

2.8.2 *Throughput/session*

Throughput per session merupakan nilai *throughput* berdasarkan tiap layanannya. Untuk menghitung nilai *throughput per session* maka menggunakan *standard service model* parameter dari Huawei. *Throughput per session* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{session}} (\text{Kbps}) = \text{PPP session time (s)} \times \text{PPP session ratio} \times \text{bearer rate (Kbps)} \times \left[\frac{1}{1 - \text{BLER}} \right] \quad (2.7)$$

Dimana:

Troughput per session : Kebutuhan *throughput* minimum (Kbit)

Bearer Rate : *Data rate* yang harus disediakan oleh layer aplikasi layanan

PPPsession rate : Durasi rata-rata setiap layanan

Duty Ratio : Rasio dari data yang dikirim pada setiap sesi

BLER : Yang diperbolehkan dalam satu sesi