

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Sistem komunikasi nirkabel menjadi hal krusial dalam operasional kereta cepat Whoosh KCIC. Ini memastikan keselamatan, efisiensi, dan keandalan sistem secara keseluruhan. Interaksi antara kereta dan pusat kendali adalah kunci dalam pengaturan lalu lintas, penanganan insiden darurat, dan pertukaran data secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan yang akurat [1]. Namun, dalam beberapa penerapannya, ada keterbatasan dalam kapasitas, cakupan jaringan, dan fleksibilitas sistem yang digunakan, terutama dengan meningkatnya kebutuhan pertukaran data yang kompleks di era digital saat ini [2].

Kereta cepat Whoosh KCIC yang menghubungkan Stasiun Tegalluar Summarecon hingga Stasiun Halim adalah bukti nyata transformasi transportasi nasional menuju teknologi tinggi. Meskipun sistem komunikasi yang digunakan sudah memenuhi standar operasional dasar, ada indikasi bahwa kemampuannya belum optimal untuk tantangan modern, seperti pengiriman data video, pemantauan kondisi sensorik, dan pengelolaan data besar dari sistem otomatisasi dan pengawasan. Keterbatasan ini menimbulkan kekhawatiran tentang efektivitas operasional dan keberlangsungan sistem transportasi berkecepatan tinggi yang membutuhkan respons instan dan akurat [3].

Lebih lanjut, karakteristik lintasan Whoosh KCIC menuntut koneksi yang stabil, latensi rendah, dan kemampuan adaptasi terhadap mobilitas tinggi. Ini memerlukan sistem komunikasi yang dapat beroperasi tanpa henti, bahkan dalam kondisi geografis yang menantang dan lingkungan di sepanjang jalur antara Stasiun Padalarang dan Stasiun Tegalluar Summarecon dengan tingkat interferensi sinyal yang tinggi. Sistem yang saat ini digunakan mulai menunjukkan keterbatasan dalam mendukung transmisi data yang cepat dan dapat diandalkan. Jika tidak diperbaharui, ini berpotensi menyebabkan keterlambatan pengiriman informasi penting antara kereta dan pusat kontrol, serta berdampak pada keselamatan dan kelancaran operasional [4].

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi komunikasi, ada peluang untuk mengintegrasikan sistem komunikasi modern yang menawarkan kapasitas *bandwidth* lebih luas, fleksibilitas manajemen jaringan, serta kemampuan penyesuaian kualitas layanan sesuai

kebutuhan operasional kereta cepat. Hal ini penting untuk mendukung integrasi sistem modern seperti pemantauan secara *real-time*, peringatan dini otomatis, hingga pelacakan presisi kereta oleh pusat kendali [5].

Oleh karena itu, diperlukan kajian teknis dan perancangan sistem komunikasi nirkabel yang diterapkan pada jalur Whoosh KCIC, khususnya antara Stasiun Padalarang dan Stasiun Tegalluar Summarecon. Dengan pendekatan teknis yang terukur dan komprehensif, solusi yang dihasilkan diharapkan tidak hanya mengatasi kendala yang ada saat ini, tetapi juga menjadi fondasi kuat dalam menghadapi tantangan pengembangan transportasi berbasis teknologi tinggi di masa mendatang.

1.2 Analisis Masalah

Berdasarkan deskripsi umum masalah yang telah dibahas, terdapat sejumlah aspek penting yang dapat terpengaruh oleh tantangan yang dihadapi dalam sistem komunikasi pada jalur Whoosh Kereta Cepat Indonesia China (KCIC) antara Stasiun Padalarang dan Stasiun Tegalluar Summarecon, sebagai berikut.

1.2.1 Aspek Teknologi dan Infrastruktur

Salah satu tantangan mendasar dalam sistem komunikasi kereta cepat saat ini terletak pada keterbatasan teknologi yang digunakan, khususnya dalam memenuhi kebutuhan transmisi data berkecepatan tinggi dan berkinerja stabil. Infrastruktur yang tersedia belum sepenuhnya mampu mengakomodasi komunikasi dengan kapasitas besar, latensi rendah, serta proses *handover* yang baik saat kereta bergerak dengan kecepatan tinggi.

Kondisi ini berdampak pada menurunnya performa komunikasi, terutama di wilayah dengan tantangan geografis seperti tebing yang tinggi, area perkotaan yang padat, hingga area dengan gangguan elektromagnetik tinggi. Minimnya dukungan infrastruktur seperti menara transmisi dan antena khusus untuk kereta cepat, menjadi hambatan dalam upaya modernisasi sistem komunikasi.

1.2.2 Aspek Keselamatan Operasional

Keandalan sistem komunikasi merupakan faktor penting dalam menjamin keselamatan operasional kereta cepat. Gangguan atau ketidakstabilan dalam komunikasi berpotensi menyebabkan keterlambatan pengiriman informasi krusial, seperti instruksi pemberhentian darurat, laporan kondisi lintasan, maupun pelacakan posisi kereta secara *real-time*. Dalam sistem transportasi berkecepatan tinggi, respons yang lambat akibat keterlambatan komunikasi dapat menimbulkan risiko keselamatan yang serius.

Oleh karena itu, peningkatan performa komunikasi tidak hanya menjadi kebutuhan teknis, tetapi juga menjadi bagian penting dari sistem proteksi dan pengendalian otomatis yang membutuhkan komunikasi dua arah secara terus menerus dan presisi tinggi.

1.2.3 Aspek Sosial

Sebagai simbol kemajuan teknologi transportasi di Indonesia, kereta cepat Whoosh KCIC membawa harapan besar bagi peningkatan mobilitas dan efisiensi waktu bagi masyarakat. Namun, apabila sistem pendukung seperti komunikasi tidak mampu beroperasi secara optimal, maka kepercayaan publik terhadap layanan ini dapat menurun. Ketepatan waktu dan keselamatan yang menjadi daya tarik utama kereta cepat sangat dipengaruhi oleh kualitas komunikasi antar komponen sistem.

Gangguan teknis pada sistem ini tidak hanya berdampak pada pengalaman pengguna, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi, baik dari sisi operasional maupun potensi hilangnya produktivitas pengguna. Efisiensi dalam sektor logistik, pariwisata, dan mobilitas tenaga kerja turut bergantung pada stabilitas komunikasi dalam sistem transportasi ini.

1.2.4 Aspek Lingkungan

Penerapan sistem komunikasi yang tidak dirancang secara efisien dapat menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Konsumsi daya yang tinggi akibat sistem yang tidak optimal akan memperbesar jejak karbon dan berkontribusi terhadap peningkatan emisi energi. Selain itu, penambahan infrastruktur pendukung seperti menara transmisi atau perangkat pemancar yang tidak terintegrasi dengan baik dalam tata ruang sekitar dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan memicu konflik pemanfaatan lahan.

Oleh sebab itu, pengembangan sistem komunikasi perlu mengutamakan efisiensi energi dan pendekatan desain yang berorientasi pada kelestarian lingkungan untuk menjaga keseimbangan ekosistem di sepanjang jalur kereta cepat.

1.2.5 Aspek Pengembangan Keberlanjutan

Modernisasi sistem komunikasi nirkabel pada jaringan kereta cepat merupakan langkah strategis dalam mendorong terciptanya transportasi yang berkelanjutan. Penerapan teknologi komunikasi yang lebih adaptif, terintegrasi, dan efisien akan mendukung integrasi dengan sistem transportasi multimoda serta tuntutan *smart mobility* di masa depan. Namun, tanpa perencanaan yang matang, peningkatan ini berisiko menghasilkan sistem yang cepat usang atau tidak mampu berkembang sesuai kebutuhan jangka panjang.

Oleh karena itu, solusi komunikasi yang dirancang harus memiliki fleksibilitas dalam pengembangan, skalabilitas tinggi, dan kompatibel dengan ekosistem transportasi digital masa depan agar investasi yang dilakukan dapat memberikan manfaat berkelanjutan.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Analisis solusi yang ada berisi pembahasan terkait penerapan sistem komunikasi yang saat ini telah diimplementasikan dan digunakan di jalur Whoosh KCIC. Adapun hasil analisis solusi yang ada adalah sebagai berikut.

1.3.1 Penerapan GSM-R pada Whoosh KCIC

Jaringan *Global System for Mobile Communications for Railway* merupakan teknologi komunikasi yang saat ini digunakan dalam operasional kereta cepat Whoosh KCIC. Teknologi ini, yang dikembangkan khusus untuk dunia perkeretaapian dari fondasi GSM konvensional, telah kombinasikan dengan fitur-fitur khusus demi menjamin keamanan, keandalan, dan efisiensi prima di lintasan sebuah rel [6]. Sistem ini menawarkan kanal komunikasi suara dan data yang eksklusif dan terenkripsi, memastikan interaksi krusial antara masinis, pusat kendali operasi, serta seluruh kru di lapangan tetap aman dari gangguan jaringan seluler umum.

Bagi Whoosh KCIC, GSM-R saat ini bertindak sebagai pilar utama transmisi data, memungkinkan kereta melesat pada kecepatan tinggi berkat pengiriman informasi penting seperti lokasi, kecepatan, dan izin pergerakan secara instan. Transmisi data pada GSM-R ini menjadi landasan bagi sistem kendali dan pengaman kereta. Alhasil, memungkinkan pengaturan jarak antar kereta (*headway*) yang lebih rapat, melipatgandakan kapasitas jalur, sekaligus memahat standar keselamatan operasional Whoosh secara menyeluruh.

1.3.2 Penggunaan Sistem Kendali Kereta CTCS-3 Pada Whoosh KCIC

Kereta cepat Whoosh KCIC beroperasi dengan mengandalkan Sistem Kendali Kereta *China Train Control System* (CTCS) *Level 3*, sebuah teknologi canggih yang telah teruji luas di Tiongkok [7]. Sistem ini adalah inti dari keamanan dan efisiensi operasional Whoosh, yang tidak lagi bergantung pada sinyal di pinggir rel, melainkan menggunakan kendali berbasis komunikasi CBTC atau *Communications-Based Train Control*. Artinya, CTCS *Level 3* secara *real-time* terus menerus mengirimkan dan menerima data posisi serta otorisasi pergerakan antara kereta dan pusat kendali, memungkinkan kereta beroperasi dengan konsep "blok bergerak".

Hal ini secara signifikan meningkatkan kapasitas jalur karena memungkinkan jarak antar kereta (*headway*) menjadi lebih pendek. Selain itu, CTCS *Level 3* dilengkapi dengan *Automatic*

Train Protection yang secara otomatis mengawasi dan mengintervensi jika ada pelanggaran batas kecepatan atau potensi bahaya, serta mendukung *Automatic Train Operation* untuk menjaga kecepatan optimal dan berhenti presisi, mengurangi beban kerja masinis dan potensi kesalahan manusia.

1.3.3 Perangkat *Hybrid* MSTP untuk Integrasi *Multi-System*

Dalam operasional kereta cepat Whoosh KCIC, Perangkat *Hybrid Multi-Service Transport Platform* berfungsi sebagai jaringan transmisi data yang penting, mengintegrasikan lebih dari 20 subsistem operasional yang berbeda secara bersamaan [8]. Perangkat ini, khususnya dari generasi terbaru Huawei, dirancang untuk mendukung kebutuhan *bandwidth* besar dan kestabilan tinggi, memungkinkan pengiriman data secara *real-time* dari sistem persinyalan, rekaman video CCTV, pengendalian distribusi listrik, hingga layanan penjualan tiket elektronik.

Dengan menyatukan beragam layanan pada satu platform, *Hybrid* MSTP tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan fleksibilitas sistem, tetapi juga memperkuat ketahanan jaringan melalui fitur redundansi. Tanpa kapabilitas integrasi dan transmisi data yang tangguh dari *Hybrid* MSTP, mengelola kompleksitas operasional Whoosh KCIC yang berkecepatan tinggi dengan tingkat keandalan seperti saat ini akan menjadi tantangan yang sangat besar.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari Tugas Akhir *Capstone Design* ini adalah merancang serta melakukan analisis terhadap sistem komunikasi nirkabel yang lebih handal, efisien, dan responsif untuk mendukung operasional kereta cepat Whoosh KCIC pada lintasan antara Stasiun Padalarang dan Stasiun Tegalluar. Fokus perancangan diarahkan pada peningkatan kualitas dan jangkauan sinyal pada komunikasi kereta dan pusat kontrol, dengan mengedepankan kebutuhan akan transmisi data berkecepatan tinggi, latensi yang rendah, serta kestabilan koneksi dalam kondisi mobilitas.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Batasan pada penelitian ini ditetapkan untuk memfokuskan ruang lingkup yang jelas dan spesifik, sehingga hasil penelitian terhadap perancangan komunikasi nirkabel pada Whoosh KCIC dapat lebih terarah dan relevan. Berikut adalah batasan pada penelitian ini.

1.5.1 Wilayah Perancangan

Penelitian ini secara spesifik memfokuskan cakupannya pada wilayah jalur kereta cepat Whoosh KCIC, yaitu ruas yang membentang antara Stasiun Padalarang dan Stasiun Tegalluar Summarecon dengan segmen jalur memiliki panjang total sekitar 32,8 kilometer.

Secara geografis, jalur yang menjadi objek penelitian ini melintasi wilayah Kabupaten Bandung, Kota Bandung, Kota Cimahi, dan Kabupaten Bandung Barat. Ini berarti bahwa analisis, desain, atau perancangan yang dilakukan dalam penelitian akan mempertimbangkan karakteristik geografis, demografis, dan lingkungan yang ada di sepanjang koridor ini di wilayah yang telah disebutkan.

1.5.2 Penggunaan Sitem Komunikasi

Perancangan komunikasi nirkabel untuk kereta cepat Whoosh KCIC ini terfokus pada implementasi sistem LTE-R (*Long Term Evolution for Railway*) pada penerapan frekuensi 450 MHz, yang dipilih sebagai evolusi teknologi komunikasi kereta sebelumnya. Keputusan ini didasari oleh kebutuhan spesifik kereta Whoosh KCIC akan komunikasi yang optimal, terutama mengingat mobilitasnya yang tinggi, perlunya latensi rendah untuk respons cepat operasional dan keselamatan, serta tuntutan keandalan demi keamanan dan efisiensi.

LTE-R (*Long Term Evolution for Railway*) merupakan pengembangan khusus dari teknologi LTE yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan komunikasi pada sistem transportasi kereta modern, termasuk moda kereta cepat. Teknologi ini mengadopsi standar komunikasi nirkabel berbasis 4G LTE, namun dilengkapi dengan penyesuaian pada aspek keandalan, latensi, serta kesinambungan koneksi guna mendukung operasional yang bersifat *mission-critical*. LTE-R hadir sebagai pengganti sistem komunikasi kereta konvensional seperti GSM-R, dengan peningkatan signifikan pada kapasitas *bandwidth*, kecepatan transmisi data, dan efisiensi penggunaan spektrum. Keunggulannya terletak pada kemampuan menghadirkan komunikasi *real-time* berlatensi rendah, mekanisme *seamless handover* antar *eNodeB*, serta integrasi layanan suara, video, dan data dalam satu infrastruktur jaringan terpadu.

Dari sisi layanan, LTE-R mencakup tiga kategori utama. Pertama, layanan komunikasi operasional seperti *Train Control & Monitoring System* (TCMS) dan *Automatic Train Control* (ATC) yang memastikan koordinasi presisi antara pusat kendali dengan armada kereta. Kedua, layanan keselamatan yang mencakup *Mission Critical Push-to-Talk* (MCPTT), *Mission Critical Video* (MCVideo), dan *Mission Critical Data* (MCData), berperan vital dalam

penanganan keadaan darurat, komunikasi antar personel, serta transmisi data sensor secara instan. Ketiga, layanan diagnostik dan pemeliharaan yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi peralatan secara langsung, sehingga dapat mengurangi waktu henti operasional dan meningkatkan efisiensi perawatan.

Selain mendukung kebutuhan internal operasional, LTE-R juga mampu menyediakan layanan bagi penumpang, seperti akses internet berkecepatan tinggi di dalam kereta, layanan *infotainment*, serta pembaruan informasi perjalanan secara langsung melalui *Passenger Information System* (PIS). Integrasinya dengan *Next Generation Network* (NGN) dan potensi adopsi teknologi 5G di masa mendatang membuka peluang peningkatan cakupan dan kualitas layanan, termasuk mendukung operasi kereta otonom dan analitik berbasis kecerdasan buatan. Dengan demikian, LTE-R tidak hanya berfungsi sebagai infrastruktur komunikasi yang aman dan andal, tetapi juga menjadi landasan inovasi untuk mewujudkan transportasi kereta cepat yang lebih modern, efisien, dan berfokus pada keselamatan.

Dengan demikian, penerapan LTE-R pada frekuensi ini diharapkan mampu menyediakan solusi komunikasi nirkabel yang aman dan efisien untuk seluruh operasional kereta cepat Whoosh KCIC. Parameter teknis yang dipergunakan untuk menganalisa adalah RSRP (*Reference Signal Received Power*), SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), *Throughput Downlink*, BER (*Bit Error Rate*).

1.5.3 Spesifikasi Jaringan LTE-R

Dengan mengadopsi LTE-R, sistem komunikasi pada Whoosh KCIC mendukung integrasi dengan sistem kontrol dan memungkinkan layanan multimedia demi meningkatkan manajemen operasi serta pengalaman pengguna. Selain itu, LTE-R dirancang untuk berkoeksistensi dengan infrastruktur GSM-R selama masa transisi, sekaligus memanfaatkan menara BTS eksisting guna efisiensi biaya dan percepatan implementasi [9]. Dibawah ini terdapat Tabel 1.1 yang menjelaskan terkait parameter sistem pada jaringan LTE-R.

Tabel 1. 1 Spesifikasi Jaringan LTE-R

<i>LTE-R System Parameter</i>	<i>Specified Values</i>
<i>Frequency</i>	450 MHz, 800 MHz, 1.4 GHz, 1.8 GHz
<i>Bandwidth</i>	1,4-20 MHz
<i>Modulation</i>	QPSK/16-QAM
<i>Cell range</i>	4-12 km
<i>Cell configuration</i>	Konfigurasi <i>singlesector</i>
<i>Peak data rate, downlink/uplink</i>	50 Mbps untuk <i>downlink</i> ; 10 Mbps untuk <i>uplink</i>
<i>Peak spectral efficiency</i>	2,55 bps/Hz
<i>Data transmission</i>	Menggunakan <i>packet switching</i> (UDP data)
<i>Packet retransmission</i>	Ya/bisa; menggunakan <i>reduced</i> UDP <i>packets</i>
MIMO	Mendukung; dengan 2 x 2
<i>Mobility</i>	Maksimum berkecepatan 500 km/jam
<i>Handover success rate</i>	$\geq 99,9\%$
<i>Handover procedure</i>	<i>Soft</i> , tidak ada data yang hilang
<i>All IP (native)</i>	Ya