

# Interferensi frekuensi GSM-R rute Jakarta-Bandung (studi kasus: PT. Kereta Cepat Indonesia China)

Almon Lanang Prasojo<sup>1\*</sup>, Esi Putri Silmina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknologi Informasi, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta  
Jl. Siliwangi (Ring Road Barat) No. 63 Nogotirto, Gamping, Sleman, Yogyakarta 55292, Indonesia  
<sup>1</sup>\*almon.bss@gmail.com, <sup>2</sup>esiputrisilmina@unisayoga.ac.id

## ABSTRAK

Proyek kereta cepat di Indonesia terutama lintas Kereta Cepat Jakarta Bandung (KCJB) merupakan langkah besar untuk meningkatkan transportasi antar kota yang efisien dan cepat. Salah satu masalah serius yang dihadapi adalah gangguan frekuensi pada sistem *GSM for Railway* (GSM-R). Gangguan ini berpotensi menyebabkan penurunan kinerja operasional kereta, sehingga mengakibatkan peralihan sistem kontrol dari CTCS level 3 yang dapat berjalan hingga 350km/jam menjadi *downgrade* ke CTCS level 2 yang berjalan dengan kecepatan maksimal 300km/jam. Masalah ini semakin kompleks dengan penggunaan frekuensi sewaan dari penyedia layanan seluler seperti Telkomsel tanpa adanya jaringan telekomunikasi khusus seperti GSM-R yang telah diterapkan di negara-negara maju termasuk Tiongkok. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dampak interferensi frekuensi pada sistem operasional kereta cepat di Indonesia dan juga mencari solusi potensial, termasuk penerapan regulasi pemerintah yang lebih ketat terkait alokasi frekuensi, serta transisi ke sistem komunikasi *Long Term Evolution for Railways* (LTE-R) yang menawarkan kapasitas jaringan lebih tinggi dan ketahanan terhadap interferensi. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus melalui wawancara dengan teknisi telekomunikasi serta studi literatur terhadap regulasi frekuensi dan teknologi LTE-R. Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi telekomunikasi kereta cepat yang sudah digunakan di negara-negara Eropa, Korea, dan Tiongkok dapat menjadi acuan bahwa selain dukungan pemerintah terkait penetapan frekuensi, LTE-R juga dapat menjadi solusi efektif untuk meminimalisir interferensi frekuensi pada jalur kereta cepat.

**Kata kunci:** kereta cepat, interferensi frekuensi, GSM-R, CTCS

## ABSTRACT

*The high-speed rail project in Indonesia, especially the Jakarta-Bandung High-Speed Rail (KCJB) crossing, is a significant step towards improving efficient and fast inter-city transportation. One of the problems faced is frequency interference in the GSM for Railway (GSM-R) system. This disruption has the potential to cause a decrease in train operational performance, resulting in a switch from CTCS level 3, which can run at speeds of up to 350km/h, to CTCS level 2, which operates at a maximum speed of 300km/h. This problem is increasingly complex with the use of leased frequencies. This problem is becoming increasingly complex with the use of leased frequencies from cellular service providers, such as Telkomsel, without a dedicated telecommunications network, like GSM-R, which has been implemented in developed countries, including China. This research aims to analyze the impact of frequency interference on Indonesia's high-speed rail operational system and explore potential solutions, including the implementation of stricter government regulations on frequency allocation, as well as the transition to Long Term Evolution for Railways (LTE-R) communication systems, which offer higher network capacity and interference resistance. This research employs a case study approach, involving interviews with telecommunications experts and a literature review that focuses on frequency regulation and LTE-R technology. This research concludes that high-speed rail telecommunication technologies already implemented in European countries, Korea, and China can serve as a reference that, in addition to government support regarding frequency allocation, LTE-R can also be an effective solution to minimize frequency interference on high-speed train lines.*

**Keywords:** high-speed rail, frequency interference, GSM-R, CTCS

## 1. PENDAHULUAN

Transportasi kereta cepat di Indonesia, khususnya pada jalur Kereta Cepat Jakarta-Bandung (KCJB) adalah sebuah langkah yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perjalanan antar kota. Proyek ini merupakan hasil kerja sama antara Indonesia dan Tiongkok. Peresmian kereta cepat ini

dihadiri oleh Presiden ke-7 Indonesia yang juga menyampaikan sambutannya bahwa, Kereta Cepat Jakarta-Bandung (KCJB) ini merupakan kereta cepat pertama di Indonesia dan Asia Tenggara dengan kecepatan maksimal 350km/jam [1]. Keberhasilan operasional kereta cepat ini sangat bergantung pada teknologi telekomunikasi yang andal. *Global System for Mobile Communication for Railway* (GSM-R) ini merupakan sistem komunikasi nirkabel publik yang paling matang dan umum digunakan di dunia. GSM-R dirancang untuk memenuhi kebutuhan khusus perkeretaapian, seperti operasional kereta cepat, telekomunikasi data dan suara, dan sebagainya. Tahun 2004, GSM-R ditetapkan sebagai standar sistem telekomunikasi kereta cepat di Tiongkok [2]. Berbicara tentang GSM-R maka ini sangat berkaitan dengan frekuensi, setiap teknologi komunikasi, beroperasi pada pita frekuensi tertentu untuk memastikan bahwa sinyal dapat diterima dan diolah dengan baik tanpa interferensi dari pemancar frekuensi yang lain. Menurut *International Union of Railways* (UIC) gangguan GSM-R di eropa dari tahun 2007-2011 mencapai 252 lokasi, dan interferensi yang dikarenakan sinyal pemancar publik atau frekuensi yang sama mendapat tingkat tertinggi sebagai penyebab interferensi [3]. Data dari UIC menunjukkan bahwa terdapat 252 lokasi gangguan GSM-R di wilayah Eropa selama kurun waktu 4 tahun, yang disebabkan oleh interferensi dari jaringan publik. Interferensi ini merupakan masalah sistemik yang berulang dan menjadi tantangan utama dalam menjaga stabilitas komunikasi kereta. Interferensi ini sangat berdampak pada sistem GSM-R, karena dapat menyebabkan terganggunya telekomunikasi hingga menyebabkan turunnya *level Train Control Systems*.

*Train Control Systems* yang digunakan oleh kereta cepat di berbagai negara memiliki level yang berbeda-beda. *Train Control Systems* pada kereta cepat di Tiongkok atau yang dinamakan *Chinese Train Control Systems* (CTCS) memiliki 5 level dari 0 – 4, hal ini berdasarkan pada *European Train Control Systems* (ETCS) [4]. Kereta cepat di Indonesia sendiri menggunakan sistem kontrol milik Tiongkok, pada level 2 dan 3. CTCS-3 menjadi kontrol yang utama untuk kereta cepat di Indonesia. Ketika terjadi interferensi GSM-R karena persamaan frekuensi yang dipancarkan oleh *tower* pemancar publik atau *operator provider*, hal ini dapat menyebabkan terganggunya sistem GSM-R dan dapat mengakibatkan turun level atau *downgrade* dari CTCS-3 menjadi CTCS-2, yang tentunya mengubah batas kecepatan dari 350 Km/jam menjadi 250 Km/jam. Berubahnya jadwal operasional juga dapat dipengaruhi karena gangguan ini, karena Grafik Perjalanan Kereta atau Gapeka yang sudah dibuat atau dijadwalkan berdasarkan kecepatan kereta dan waktu tempuhnya.

Interferensi GSM-R akan terus berkepanjangan jika tidak segera diatasi. Terdapat beberapa opsi untuk mengatasi hal ini, yang pertama adalah perlunya regulasi dari pemerintah terkait frekuensi khusus untuk kereta cepat ini. Dukungan dari pemerintah terkait regulasi frekuensi khusus ini, merupakan salah satu cara untuk mencegah terjadinya interferensi frekuensi yang sama dengan *tower* pemancar publik. Opsi solusi yang kedua adalah dengan menerapkan LTE-R sebagai sistem utama dan GSM-R sebagai sistem cadangan. LTE memiliki keunggulan yang tentunya lebih baik dari GSM terutama pada kecepatan *transfer* datanya. Kecepatan *transfer* data pada jaringan LTE dapat mencapai rata-rata 100 Mbps [5]. Konfigurasi yang berbeda terkait frekuensi antara GSM-R dan LTE-R dapat menjadi solusi jika sistem utama mengalami interferensi, maka masih dapat diambil alih menggunakan sistem cadangan.

Negara-negara di Eropa, Korea Selatan, dan Tiongkok telah mengembangkan jaringan LTE-R ini. *Telecommunications Technology Association* (TTA) di Korea Selatan telah menetapkan persyaratan sistem komunikasi kereta berbasis LTE sebagai standar penggunaan sistem LTE-R. Standar LTE ini diproyeksikan untuk kereta dengan kecepatan 400-450km/jam [6]. Namun tidak menutup kemungkinan untuk digunakan pada kecepatan 250 atau 350 Km/jam seperti yang digunakan di Indonesia saat ini. Penelitian di Korea Selatan tersebut telah melakukan ujicoba menggunakan jaringan LTE-R di kawasan jalur kereta kecepatan 350km/jam, dengan hasil pengiriman dan penerimaan data serta layanan suara dan video berhasil tanpa ada kegagalan. Bukti penelitian ini menunjukkan bahwa LTE-R memiliki lebih banyak fitur yang dapat dikembangkan pada kereta cepat dan memiliki kecepatan hingga 100 Mbps.

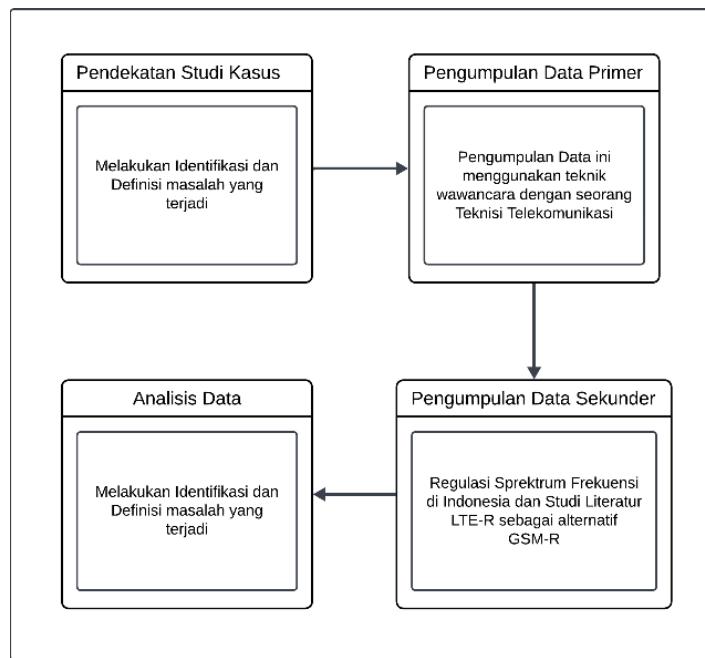
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis regulasi frekuensi yang secara khusus diperlukan untuk mendukung operasional kereta cepat. Fokus utamanya adalah mengevaluasi potensi penerapan LTE-R sebagai sistem komunikasi utama yang dapat menggantikan atau menjadi solusi bagi GSM-R, dengan mempertimbangkan kapabilitas LTE-R dalam menyediakan kecepatan tinggi hingga 100 Mbps, serta fitur canggih yang mendukung layanan data, suara, dan video secara andal pada kecepatan kereta hingga 450 Km/jam. Analisis ini juga mempertimbangkan kemungkinan pengembangan teknologi LTE-R untuk memenuhi kebutuhan transportasi kereta cepat di masa depan.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian akan dijelaskan terkait tahapan penelitian yang dilakukan, bagaimana pendekatan studi kasus dilakukan, teknik pengumpulan data, serta analisis data.

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penyelesaian penelitian ini, menggunakan beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan, penelitian melibatkan serangkaian tahapan, termasuk pengumpulan data primer dan sekunder untuk mendapatkan informasi yang diinginkan dan gambaran yang sesuai dengan tujuan penelitian. Diagram alir seperti pada Gambar 1 dapat digunakan untuk melihat tahapan-tahapan tersebut.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

### 2.2 Pendekatan Studi Kasus

Pendekatan studi kasus digunakan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai masalah yang terkait dengan penggunaan spektrum frekuensi GSM-R di sektor transportasi kereta cepat di Indonesia. Pendekatan ini memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah secara spesifik, menganalisis kondisi saat ini, dan mengusulkan solusi untuk mengatasi masalah yang ada.

### 2.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data melalui wawancara oleh seorang teknisi telekomunikasi khususnya GSM-R dan juga regulasi terkait alokasi frekuensi di Indonesia serta Literatur LTE-R sebagai alternatif dari GSM-R. Teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui wawancara. Wawancara mula-mula menanyakan serangkaian pertanyaan yang sudah terstruktur, kemudian satu persatu diperdalam dengan mencari keterangan lebih lanjut [7]. Dilakukan wawancara kepada Ari Mardianto selaku teknisi telekomunikasi mengenai teknologi GSM-R. Beberapa pertanyaan telah dijawab oleh narasumber, yang disimpulkan menjadi seperti berikut.

- a. GSM-R ini masih rawan mengalami interferensi terhadap frekuensi yang sama karena masih terhubung dengan jaringan frekuensi seluler
- b. Tindak Lanjut yang dilakukan ketika terjadi interferensi adalah dengan melaporkan kejadian kepada Balai Monitoring (BalMon) milik Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo), karena keterbatasan akses untuk menanganinya.
- c. Dalam rangka meminimalisir interferensi frekuensi yang sama oleh jaringan seluler, pada setiap BTS telah dilakukan konfigurasi sejauh 30km secara 36° bahwa dilarang menggunakan frekuensi yang sama di jalur kereta cepat Jakarta-Bandung.

- d. Kereta cepat melakukan kerja sama dengan penyedia jaringan seluler untuk sewa frekuensi 900MHz.
- e. Kereta cepat harus mendapatkan regulasi terkait frekuensi khusus dan atau menggunakan sistem telekomunikasi LTE-R sebagai sistem utama.
- f. Dapat menggunakan frekuensi yang sama setelah menggunakan frekuensi yang berbeda sepanjang 800KHz.
- g. Jika yang terganggu atau terkena interferensi GSM-R hanya salah satu BTS, maka ketika memasuki BTS selanjutnya dapat menggunakan GSM-R.

## 2.4 Analisis Data

Melakukan analisis data yang diperoleh dari wawancara oleh seorang teknisi telekomunikasi dan juga data terkait regulasi frekuensi khusus kereta cepat yang dapat menyimpulkan masalah dan menawarkan solusi yang dapat di terapkan untuk kereta cepat di Indonesia. Analisis data dilakukan dengan pendekatan kualitatif berbasis wawancara, dan dilengkapi dengan studi dokumen terhadap regulasi alokasi frekuensi GSM-R dan pengembangan teknologi LTE-R yang relevan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alokasi spektrum frekuensi di Indonesia sangatlah banyak, mulai dari radio hingga *operator* penyedia *simcard*. Alokasi frekuensi di Indonesia bermacam-macam, karena terdapat beberapa pita frekuensi yang dialokasikan kepada penyedia. Pita frekuensi untuk GSM yang diberikan yaitu 900 dan 1800MHz. Alokasi frekuensi pada pita frekuensi 900MHz seperti yang ada pada Tabel 1.

**Tabel 1. Alokasi frekuensi 900MHz**

Operator	Downlink Start	Downlink End	Uplink Start	Uplink End
Indosat	935,2	944,8	890,2	899,8
Telkomsel	945,2	952,4	900,2	907,4
XL	952,6	959,8	907,6	914,8

Selain pita frekuensi 900MHz juga terdapat penyedia yang berada pada pita 1800Mhz, seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2. Alokasi frekuensi 1800MHz**

Operator	Downlink Start	Downlink End	Uplink Start	Uplink End
XL	1805,2	1812,4	1710,2	1717,4
Indosat	1812,6	1824,8	1722,4	1722,6
Telkomsel	1825,2	1829,8	1722,6	1729,8
Axis	1840,2	1844,8	1745,2	1749,8
Telkomsel	1860,2	1869,8	1765,2	1774,8
Three	1870,2	1879,8	1775,2	1784,8

Kedua pita frekuensi ini digunakan untuk jaringan GSM. Dapat diketahui bahwa Telkomsel dan Indosat yang memiliki pita frekuensi paling panjang dan Three yang memiliki pita frekuensi paling pendek, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 [8]. Dengan alokasi yang bervariasi, setiap *operator* memiliki kapasitas yang berbeda dalam menangani trafik data dan suara. Sebagai *operator* dengan alokasi pita frekuensi terpanjang, Telkomsel dan Indosat memiliki keuntungan dalam kapasitas jaringan dan jangkauan layanan.

**Tabel 3. Jumlah Alokasi Frekuensi Pada Provider**

Operator GSM	Alokasi Frekuensi		
	900MHz	1800MHz	Total
Telkomsel	7,5	22,5	30
Indosat	10	20	30
XL	7,5	7,5	15
Axis	0	15	15
Three	0	10	10
Total	25	75	100

Sebaliknya, penyedia dengan pita frekuensi lebih pendek, seperti Three, memiliki keterbatasan dalam hal ini. Penggunaan pita frekuensi secara bersama dengan kebutuhan komunikasi kereta cepat berbasis GSM-R, potensi interferensi menjadi isu utama. Kereta cepat di Indonesia mengalami kondisi ini, karena belum adanya regulasi terkait frekuensi GSM-R. PT. KCIC bekerja sama dengan penyedia Telkomsel dengan cara sewa frekuensi untuk GSM-R dengan pita frekuensi 900Mhz. Frekuensi GSM-R yang digunakan oleh Kereta Cepat ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Frekuensi GSM-R Kereta Cepat di Indonesia**

No	Nama	Frekuensi (MHz)	Relasi
1	Uplink	891 ~ 895	Bandung – Jakarta
2	Downlink	936 ~ 940	Jakarta – Bandung

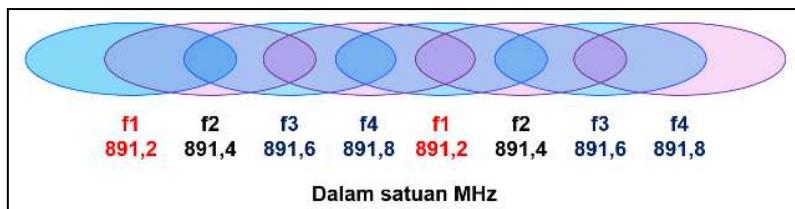
Sewa frekuensi ini menjadi satu-satunya solusi yang dapat dilakukan oleh KCIC sekaligus menunggu regulasi yang ditetapkan oleh pemerintah terkait frekuensi GSM-R saat ini. Kondisi inilah yang mengakibatkan rentangnya terjadi interferensi frekuensi terhadap jaringan GSM-R, karena tidak menutup kemungkinan *tower* pemancar publik memancarkan frekuensi yang sama dengan yang sedang digunakan oleh GSM-R. Dukungan pemerintah terkait regulasi frekuensi kereta cepat ini sangatlah penting, selain untuk menjaga dari terjadinya interferensi hal ini juga untuk memastikan kelancaran dan keamanan operasional kereta cepat tanpa adanya gangguan dari frekuensi yang sama.

### 3.1 Regulasi Pemerintah

Regulasi adalah suatu peraturan yang dibuat untuk membantu mengendalikan suatu kelompok, Lembaga/organisasi, dan Masyarakat demi mencapai tujuan tertentu dalam kehidupan bersama, bermasyarakat, dan bersosialisasi [9]. Regulasi yang diharapkan adalah frekuensi yang khusus digunakan untuk operasional kereta cepat, karena dengan adanya regulasi ini, operasional kereta cepat dapat dilakukan dengan optimal tanpa adanya kekhawatiran terkait interferensi frekuensi yang sama. Penetapan regulasi ini bukan hal yang mudah, membutuhkan dukungan dari pemerintah serta kerja sama dari penyedia *operator*, karena jika regulasi terkait frekuensi kereta cepat ini di realisasikan, tentunya akan merubah daftar alokasi frekuensi pada saat ini. Undang-Undang nomor 11 tahun 2020 pasal 33 ayat 1-6 telah tercantum terkait aturan perusahaan atau badan usaha yang menggunakan spektrum frekuensi harus memenuhi perizinan berusaha dari pemerintah pusat dengan cara kerja sama penggunaan frekuensi untuk penerapan teknologi baru pengalihan penggunaan spektrum frekuensi dengan penyelenggara telekomunikasi lainnya [10]. Langkah yang dilakukan oleh PT. Kereta Cepat Indonesia Tiongkok saat ini adalah melakukan kerjasama sewa frekuensi dengan penyedia Telkomsel.

### 3.2 Studi Literatur LTE-R

GSM-R bekerja dalam jaringan 2G dan 3G tetapi untuk LTE-R bekerja dalam jaringan 4G. LTE-R adalah *system* telekomunikasi kereta api yang berbasis *Internet Protocol* (IP) yang menyediakan transmisi suara dan data berkecepatan tinggi, dan telah memajukan fitur-fitur khusus yang didedikasikan untuk lingkungan kereta cepat [11]. Implementasi operasional pertama GSM-R yang menargetkan pemasangan teknologi baru ini diluncurkan pada tahun 1999 di Jerman [12]. Namun, keterbatasan kapasitas, kemampuan, dan interferensi yang sering terjadi telah mendorong perlunya teknologi yang lebih canggih untuk memenuhi kebutuhan operasional modern. Salah satu kendala utama GSM-R adalah kapasitas *bandwidth* yang terbatas, hanya mendukung 19 saluran 200 kHz, sehingga kurang cocok untuk mendukung kebutuhan komunikasi data *real-time* yang diperlukan oleh sistem pengelolaan kereta *modern*, seperti *Radio Block Center* (RBC) [13]. Indonesia menggunakan *bandwidth* 4 MHz, yang mendapatkan sebanyak 20 *channel*. Hal ini sesuai dengan standar GSM-R yang digunakan oleh China dan negara-negara Eropa [14]. Jalur kereta cepat Jakarta-Bandung memiliki 38 *Base Transceiver Station* (BTS), yang frekuensinya dialokasikan menggunakan 20 *channel* tersebut secara berbeda. Aturan penggunaan frekuensi yang sama adalah jika sudah melewati 800khz, maka frekuensi yang sama dapat digunakan kembali dan aman dari interferensi. Oleh karena itu, KCIC menggunakan 20 frekuensi yang berbeda sedang frekuensi ke 21 hingga ke 38 menggunakan frekuensi yang sama, seperti yang disimulasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi penggunaan frekuensi yang sama

LTE-R dirancang agar kompatibel dengan infrastruktur GSM-R yang sudah ada. Langkah ini tidak hanya mengurangi biaya transisi, tetapi juga memungkinkan penggunaan kembali infrastruktur seperti menara GSM-R, sehingga meningkatkan efisiensi implementasi. Implementasi LTE-R masih menghadapi tantangan, termasuk kebutuhan spektrum frekuensi yang lebih luas [15]. GSM-R sangat relevan dengan ETCS-2 dan ETCS-3, CTCS-2 dan CTCS-3 dimana kereta melaju hingga kecepatan 350km/jam, sedangkan LTE-R diproyeksikan untuk dapat digunakan oleh ETCS-4 dan CTCS-4. Terdapat beberapa perbedaan dalam GSM-R dan LTE-R mengenai layanan komunikasi dari kedua sistem ini.

#### a. GSM-R

- 1) *Voice Group Call Service (VGCS)* yaitu melakukan panggilan kelompok antara kereta dan *Base Station* (BS) atau melakukan panggilan kelompok antara pekerja di pinggir rel, dan *staff* stasiun.
- 2) *Voice Broadcast Service (VBS)* yaitu mengirimkan pesan ke kereta lain atau ke *Base Station*.
- 3) *Enhanced Multilevel Precedence and Preemption* (eMLPP) yaitu menentukan prioritas pengguna yang digunakan untuk panggilan grup darurat.
- 4) *Functional Addressing* yaitu kereta dapat diberikan label atau alamat dengan nomor yang mengidentifikasi identitas penggunanya.

#### b. LTE-R

- 1) *Information Transmission of Control Systems* yaitu jika pada CTCS-3 mendeteksi posisi kereta menggunakan *balise*, maka dengan LTE-R sudah memiliki fitur untuk mendeteksi lokasi kereta yang dideteksi oleh *Radio Block Center* (RBC) dan peralatan *onboard*.
- 2) *Real-time Monitoring* yaitu menyediakan pemantauan informasi waktu nyata kondisi rel kereta, Infrastruktur kereta, dan deteksi lintasan untuk mendeteksi pembekuan pada suhu rendah.
- 3) *Train Multimedia Dispatching* yaitu menyediakan transmisi data yang lengkap (teks, data, suara, gambar, dan video) dari pengemudi kepada *operator* perawat.
- 4) *Railway Emergency Communications* yaitu menyediakan transmisi suara, video, data, dan gambar apabila terjadi bencana alam atau keadaan darurat lainnya yang mempengaruhi operasional kereta dan diperlukannya komunikasi secara langsung antara lokasi kecelakaan, pusat kontrol, dan pusat penyelamatan.

Dapat diketahui perbedaan antara LTE-R dan GSM-R, LTE-R menawarkan berbagai keunggulan seperti *throughput* data yang lebih tinggi, latensi lebih rendah, dan efisiensi spektrum yang lebih baik. Kemampuan untuk mendukung aplikasi *real-time* seperti monitoring kereta, pengelolaan darurat, dan komunikasi berbasis IP. LTE-R diakui sebagai solusi yang lebih efisien dan sesuai untuk kebutuhan kereta berkecepatan tinggi (*High-Speed Railway*). LTE-R diharapkan menjadi penerus alami GSM-R tidak hanya karena keunggulan teknis dan kinerjanya, tetapi juga karena evolusi sistem komunikasi serba guna saat ini [16]. Berdasarkan literatur terbaru, LTE-R menunjukkan peningkatan signifikan dalam berbagai aspek dibandingkan GSM-R. Perbandingan rinci dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan GSM-R dan LTE-R

Parameter	GSM-R	LTE-R
<i>Bandwidth</i>	200 kHz per channel	1.4 MHz – 20 MHz
Frekuensi	876 – 880 MHz ( <i>Uplink</i> )	Bervariasi 700 MHz, 1.8 GHz, 2.6 GHz
	921 – 925 MHz ( <i>Downlink</i> )	
Latensi	~400 – 500 ms	<50 ms
Arsitektur Jaringan	Hierarki (BSC + BTS)	<i>Flat</i> (eNodeB + EPC)
<i>Data Rate / Throughput</i>	Maksimum ~172 kbps	50 Mbps ( <i>Downlink</i> )
		10 Mbps ( <i>Uplink</i> )

Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa LTE-R menawarkan *bandwidth* yang lebih lebar, latensi lebih rendah, serta *throughput* data yang jauh lebih tinggi dibandingkan GSM-R. GSM-R hanya mendukung data *rate* hingga ~172 kbps, sedangkan LTE-R mampu mencapai hingga 50 Mbps untuk *downlink* dan 10 Mbps untuk *uplink* dalam pengujian jalur kecepatan tinggi [17]. Bukti konkret keberhasilan implementasi LTE-R dalam kondisi operasional nyata, pada bulan Desember 2017, *Samsung Electronics* bekerja sama dengan Korea Telecom (KT), salah satu *operator* telekomunikasi terbesar di Korea Selatan, berhasil mengimplementasikan sistem komunikasi LTE-R di jalur kereta cepat Wonju–Gangneung. Jalur ini dirancang untuk mendukung kecepatan operasi hingga 250 km/jam, dan pengujian menunjukkan bahwa sistem LTE-R mampu menyediakan layanan komunikasi suara dan data yang stabil, tanpa gangguan pengiriman, bahkan dalam kondisi mobilitas tinggi [18]. LTE-R yang digunakan pada proyek ini mendukung berbagai fitur komunikasi kritis, seperti *Mission-Critical Push-to-Talk* (MCPTT), *Voice over LTE* (VoLTE), dan pengiriman *video real-time* dari kereta ke pusat kendali. Selain itu, penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Guan dkk. menunjukkan bahwa sistem LTE-R mampu mempertahankan kinerja yang baik bahkan pada kecepatan kereta hingga 500 km/jam. Simulasi memperlihatkan bahwa dengan penerapan teknik *channel estimation* yang canggih dan konfigurasi antena yang dipasang secara tersebar di rangkaian kereta, tingkat kesalahan *bit* (*bit error rate*) dapat ditekan pada level rendah [19]. Berdasarkan hasil tersebut, LTE-R merupakan solusi yang sangat menjanjikan bagi sistem komunikasi *broadband* generasi berikutnya untuk perkeretaapian berkecepatan tinggi, dengan kemampuan mempertahankan kualitas layanan baik untuk transmisi suara maupun data dalam kondisi mobilitas ekstrem.

### 3.3 Tantangan Implementasi LTE-R

LTE-R menawarkan keunggulan signifikan seperti *throughput* tinggi, latensi rendah, dan efisiensi spektrum, namun penerapannya di jalur kereta cepat menghadapi sejumlah tantangan. Tantangan ini terutama berkaitan dengan karakteristik kanal komunikasi yang sangat dinamis, serta kebutuhan akan keandalan konektivitas dalam kondisi mobilitas tinggi. Studi lapangan oleh Wen dkk. mengidentifikasi bahwa *channel* komunikasi pada jalur kereta cepat sangat berbeda dengan skenario LTE konvensional, baik dari segi *delay* hingga kebutuhan perancangan sistem antena dan pengelolaan *handover* [20]. Tantangan utama lainnya adalah kebutuhan spektrum frekuensi khusus untuk LTE-R. Penelitian oleh Sanchez, dkk. menyebutkan bahwa pita frekuensi sekitar 718–783 MHz telah digunakan oleh jaringan publik dan layanan keselamatan, sehingga negosiasi alokasi eksklusif untuk sistem *railway* memerlukan kebijakan yang kompleks dan waktu yang panjang. Selain itu, biaya infrastruktur yang tinggi menjadi kendala signifikan, karena penerapan LTE-R pada jalur kereta cepat mensyaratkan densifikasi basis dengan lebih banyak BTS/eNodeB untuk menjamin jangkauan dan kualitas sinyal [21]. Berikut ini pada Tabel 6 disajikan ringkasan tantangan utama implementasi LTE-R berdasarkan karakteristik kanal dan arsitektur sistem pada lingkungan kereta berkecepatan tinggi.

**Tabel 6. Tantangan teknis implementasi LTE-R di jalur kereta cepat**

No	Tantangan Implementasi	Penjelasan Teknis
1	<i>Channel non-stationary</i>	<i>Channel</i> berubah sangat cepat akibat lingkungan terbuka, <i>viaduct</i> , dan terowongan.
2	Optimasi Infrastruktur multi-Frekuensi	Meskipun spektrum LTE-R tersedia luas, pemanfaatan efisien memerlukan konfigurasi ulang antena, <i>relay</i> , dan sistem manajemen <i>channel</i> agar sesuai dengan variasi pita frekuensi.
3	Biaya Infrastruktur	Untuk jangkauan dan kapasitas di kecepatan tinggi, perlu lebih banyak BTS/eNodeB sepanjang rel, meningkatkan biaya investasi dan operasional.

## 4. KESIMPULAN

Hasil analisis pada penelitian ini menunjukkan bahwa LTE-R merupakan teknologi komunikasi kereta yang mumpuni, dan telah mulai diimplementasikan di berbagai negara seperti Korea Selatan,

Tiongkok, dan beberapa negara Eropa. LTE-R menawarkan keunggulan dalam hal kecepatan data, keandalan, dan efisiensi spektrum, sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan komunikasi kereta cepat *modern* dibandingkan GSM-R. Meskipun demikian, biaya investasi awal dan kebutuhan infrastruktur pendukung LTE-R masih tergolong tinggi, terutama dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia. Selain itu, perlu adanya alokasi spektrum yang stabil dan tidak tumpang tindih dengan layanan lain agar teknologi ini dapat berfungsi optimal. Berdasarkan hal tersebut, dukungan dari pemerintah melalui kebijakan regulasi frekuensi khusus untuk kereta cepat menjadi salah satu solusi paling efektif untuk meminimalkan risiko interferensi pada GSM-R yang masih digunakan saat ini. Dalam jangka panjang, kebijakan ini juga dapat menjadi landasan transisi bertahap menuju sistem LTE-R yang lebih andal dan modern.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan rasa syukur dan hormat, kami ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PT. Kereta Cepat Indonesia China, khususnya kepada bapak Deddy Antoni selaku Manajer Signalling dan bapak Indra Jatnika selaku Deputy Manajer Signalling yang telah memberikan ijin dan membantu dalam proses penyusunan artikel ini. Selain itu, kami juga berterima kasih kepada Ari Mardianto selaku teknisi telekomunikasi yang telah bersedia memberikan informasi dan wawasan terkait GSM-R, LTE-R, serta tantangan teknis yang dihadapi dalam implementasi teknologi kereta cepat di Indonesia. Data dan wawancara yang disediakan telah menjadi elemen kunci dalam analisis penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Biro Komunikasi dan Informasi Publik, “Presiden Joko Widodo Resmikan Kereta Cepat Pertama di Asia Tenggara,” Kementerian Perhubungan. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bptj.kemenhub.go.id/post/read/presiden-joko-widodo-resmikan-kereta-cepat-pertama-di-asia-tenggara>.
- [2] L. J. Zhao, X. Chen, and D. Jianwen, *Interference Clearance Process of GSM-R network in China*. International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 2010.
- [3] I. U. Of Railways, “Interferences into GSM-R due to public mobile radio networks,” Paris, 2011.
- [4] L. Junting, D. Jianwu, and M. Yongzhi, “NGCTCS: Next-generation Chinese Train Control System,” 2016. [Online]. Available: [www.jestr.org](http://www.jestr.org)
- [5] A. Akram, F. H. Melvandino, W. Y. Bragaswara, and H. Ramza, “Analisis Kinerja Jaringan 4G LTE menggunakan Metode Drive Test di Kelurahan Kampung Rambutan, Jakarta Timur,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3140.
- [6] Y. Mahn-Suk, L. Sung-Hun, L. Chang-Kyo, C. Soo-Hyun, and K. Wan-jin, “Performance Test of LTE-R Railway Wireless Communication at High-Speed (350 km/h) Environments,” *IEEE*, pp. 637–640, 2018.
- [7] S. Adhimah, “Peran orang tua dalam menghilangkan rasa canggung anak usia dini (studi kasus di desa karangbong rt. 06 rw. 02 Gedangan-Sidoarjo),” *Jurnal Pendidikan Anak*, vol. 9, no. 1, pp. 57–62, 2020.
- [8] Erni Karunia, “Alokasi Frekuensi Operator GSM di Indonesia,” scribd. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online]. Available: [www.scribd.com/document/367833994/Alokasi-Frekuensi-Operator-Gsm-Di-Indonesia](http://www.scribd.com/document/367833994/Alokasi-Frekuensi-Operator-Gsm-Di-Indonesia).
- [9] W. Silalahi, M. Konstitusi, R. Indonesia, J. Medan, M. B. Nomor, and J. Pusat, “Penataan Regulasi Berkualitas Dalam Rangka Terjaminnya Supremasi Hukum,” 2020. [Online]. Available: <https://www.maxmanroe.com/vid/bisnis/pengertian-regulasi.html>.
- [10] S. Negara, “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2020,” Jakarta, 2020.
- [11] N. Silva, L. M. Correia, and F. Santana, “Evaluation of Train Communications Interference-Free Regions along Rail Tracks,” *Smantic Scholar*, pp. 1–10, 2020.
- [12] C. Prasad, *GSM-R to LTE for Railways in India*, vol. 18. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018.
- [13] R. He *et al.*, “High-Speed Railway Communications: From GSM-R to LTE-R,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 11, no. 3, pp. 49–58, Sep. 2016, doi: 10.1109/MVT.2016.2564446.
- [14] M. A. Aboud, N. Zangar, R. Langar, M. Berbineau, and J. Madec, “Optimizing Resource Allocation and Scheduling towards FRMCS and GSM-R networks coexistence in Railway Systems,” *arXiv preprint*, Mar. 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2503.21300>
- [15] R. He *et al.*, “High-Speed Railway Communications: from GSM-R to LTE-R,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, p. 1, 2016.

- [16] P. Fraga-Lamas, J. Rodríguez-Piñeiro, J. A. García-Naya, and L. Castedo, “Unleashing the potential of LTE for next generation railway communications,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, 2015, pp. 153–164. doi: 10.1007/978-3-319-17765-6\_14.
- [17] P. Fraga-Lamas, T. M. Fernández-Caramés, and L. Castedo, “Towards the internet of smart trains: A review on industrial IoT-connected railways,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 6, Jun. 2017, doi: 10.3390/s17061457.
- [18] Samsung Newsroom, “World’s First LTE-Railway Service on High-speed Train Goes Live in Korea, Supplied by Samsung and KT,” Korea, Dec. 2017. [Online]. Available: <http://news.samsung.com>
- [19] K. Guan, Z. Zhong, and B. Ai, “Assessment of LTE-R Using High Speed Railway Channel Model,” in *2011 Third International Conference on Communications and Mobile Computing*, IEEE, Apr. 2011, pp. 461–464. doi: 10.1109/CMC.2011.34.
- [20] Z. R. Wen *et al.*, “Measurement and Modeling of LTE-Railway Channels in High-Speed Railway Environment,” *Radio Sci.*, vol. 55, no. 4, Apr. 2020, doi: 10.1029/2019RS007050.
- [21] J. Calle-Sánchez, M. Molina-García, J. I. Alonso, and A. Fernández-Durán, “Long term evolution in high-speed railway environments: Feasibility and challenges,” *Bell Labs Tech J*, vol. 18, no. 2, pp. 237–253, Sep. 2013, doi: 10.1002/bltj.21615.

