

BAB I

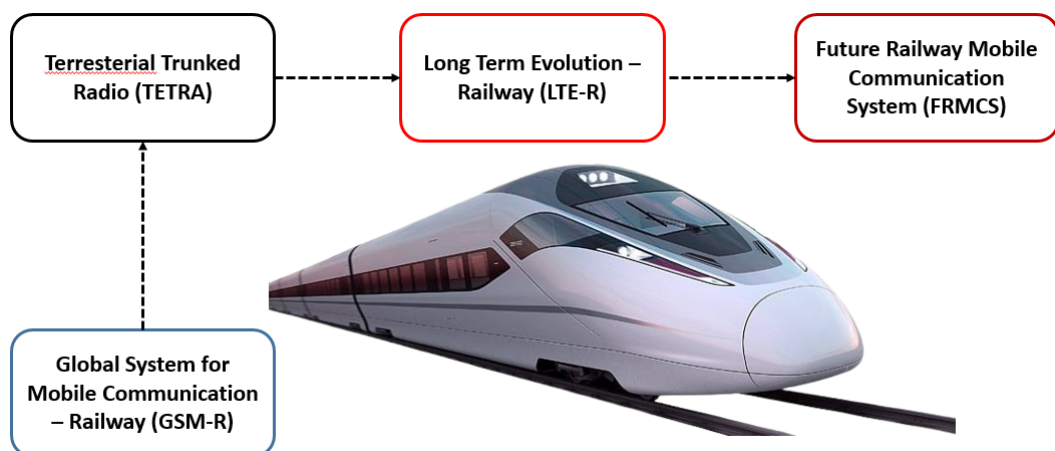
USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

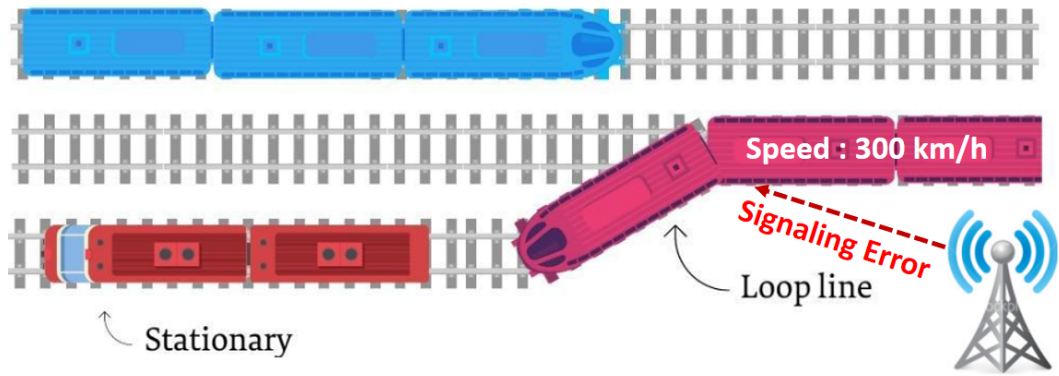
Pemerintah Indonesia saat ini sedang melakukan pembangunan infrastruktur kereta cepat di Indonesia dan ditargetkan mulai beroperasi pada Tahun 2023 [1]. Pembangunan infrastruktur kereta cepat harus didukung pula oleh infrastruktur telekomunikasi yang memadai. Sistem persinyalan kereta cepat pada dasarnya menggunakan standar yang sama dengan teknologi seluler untuk memudahkan interkoneksi dengan teknologi seluler lainnya.

International Union of Railways (UIC) menyatakan bahwa FRMCS akan diterapkan di dunia secara total pada Tahun 2035 [2], sehingga persiapan di Indonesia harus dimulai sejak dini. Gambar 1.1 menunjukkan evolusi teknologi persinyalan kereta cepat dimulai dari GSM-R hingga *long term evolution-railway* (LTE-R). Berdasarkan 3GPP TS 22.289 [3] dan ETSI TR 103 459 [4], FRMCS telah ditetapkan berbasis teknologi 5G NR. FRMCS mendukung kecepatan data hingga 20 *gigabyte per second* (Gbps) untuk *downlink* dan 10 Gbps untuk *uplink* [5]. Sistem komunikasi teknologi 5G NR juga memiliki *bandwidth* yang lebih lebar yang memungkinkan untuk menyediakan layanan kecepatan data tinggi untuk pengoperasian kereta cepat dan pelayanan komunikasi data untuk penumpang [6].

Kereta cepat dirancang untuk memiliki kecepatan hingga mencapai 500 km/jam [7]. Dalam sistem komunikasi, kecepatan tinggi menyebabkan efek *Doppler*.



Gambar 1.1 Perkembangan teknologi persinyalan kereta cepat.



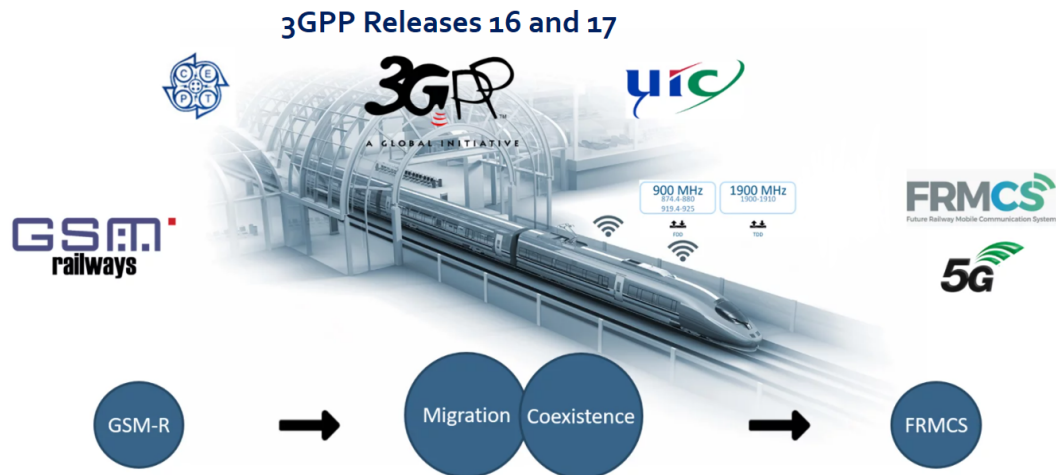
Gambar 1.2 Permasalahan sistem komunikasi pada transportasi berkecepatan tinggi.

Efek *Doppler* menyebabkan kondisi kanal komunikasi berubah-ubah. Kondisi kanal yang berubah-ubah menyebabkan (1) kesalahan sinkronisasi saat transmisi data sehingga tidak diketahui awal dan akhir data informasi dan (2) kapasitas informasi naik dan turun. Kedua akibat dari kondisi kanal yang berubah-ubah tersebut dapat menyebabkan kesalahan pada persinyalan kereta cepat yang dapat membahayakan penumpang kereta cepat. Gambar 1.2 menunjukkan akibat yang ditimbulkan ketika terjadi kesalahan dalam persinyalan kereta cepat.

Selain itu, Indonesia belum menentukan frekuensi yang tepat untuk digunakan dalam pengoperasian kereta cepat di Indonesia, sehingga kajian frekuensi juga menjadi penting. Gambar 1.3 menunjukkan frekuensi yang akan diterapkan berdasarkan standar ETSI dan ECC untuk teknologi persinyalan kereta cepat antara 900 dan 1900 MHz [8], [9]. Keadaan ini menyebabkan industri maupun operator kereta cepat Indonesia belum bisa mempersiapkan teknologi FRMCS di Indonesia, sehingga implementasi FRMCS di Indonesia akan semakin terlambat. Hal ini menyebabkan masyarakat belum bisa segera menikmati teknologi FRMCS berbasis teknologi 5G NR.

Untuk menuju realisasi, kereta cepat memerlukan akurasi tinggi. Oleh karena itu, sistem persinyalan kereta cepat membutuhkan *channel coding* dan kinerja pada frekuensi yang terbaik. Terkait *channel coding*, Tugas Akhir ini menganalisis matriks pengkodean kanal 5G NR *quasi-cyclic (QC) low density parity check (LDPC) codes* untuk mengetahui karakteristiknya *channel coding* saat kanal berubah cepat karena kecepatan tinggi berdasarkan teknik *density evolution (DE)*. Kemudian, Tugas Akhir ini juga melakukan evaluasi kinerja pengkodean kanal 5G NR QC-LDPC *codes* dengan beberapa pola iterasi untuk menemukan pola iterasi terbaik bagi kereta cepat. Pengujian kinerja dilakukan dengan melakukan perhitungan kinerja *bit error rate (BER)*.

Untuk menentukan kinerja pada frekuensi yang terbaik, kami mengusulkan



Gambar 1.3 Migrasi dari GSM-R menuju FRMCS yang telah menjadi standar 3GPP.

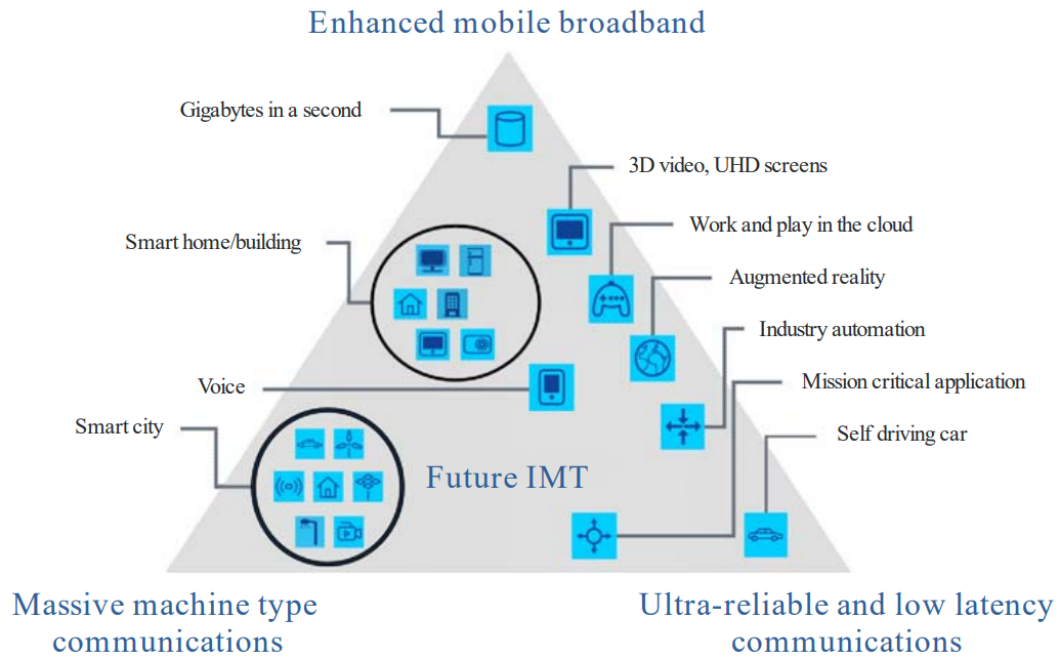
channel model untuk *railway system* Indonesia dan menganalisis kinerja FRMCS di Indonesia pada frekuensi 900 dan 1900 MHz dengan menggunakan *outage probability* yang berasal dari *channel model* tersebut. Evaluasi kinerja FRMCS di Indonesia dilakukan menggunakan parameter dari standar FRMCS, khususnya frekuensi dan *bandwidth*. Dalam Tugas Akhir ini, kami mengembangkan *channel model* Indonesia berdasarkan parameter lingkungan Kota Bandung, dengan asumsi bahwa kondisi di Bandung dapat mewakili sebagian besar kondisi di kota-kota besar lainnya di Indonesia.

1.2 Informasi Pendukung Masalah

Gambar 1.4 menunjukkan 3 *use case* utama teknologi 5G NR menurut ITU-R, yaitu (1) *enhanced mobile broadband* (EMBB) untuk menyediakan kecepatan data yang tinggi, (2) *massive machine type communications* (MMTC) yang mampu menghubungkan banyak perangkat dengan berbagai jenis mesin komunikasi, dan (3) *ultra reliable low latency communications* (URLLC) dengan keandalan kurang dari 10^{-6} dan latensi kurang dari 1 milidetik. Kereta cepat utamanya membutuhkan layanan EMBB dan URLCC dari teknologi 5G NR.

1.3 Analisis Umum

Analisis ini mencakup berbagai aspek penting dalam pengembangan teknologi komunikasi untuk kereta cepat di Indonesia, dengan fokus utama terhadap kemudahan, manfaat ekonomi, serta keberlanjutan penelitian dalam jangka panjang.



1.3.1 Aspek Kemudahan

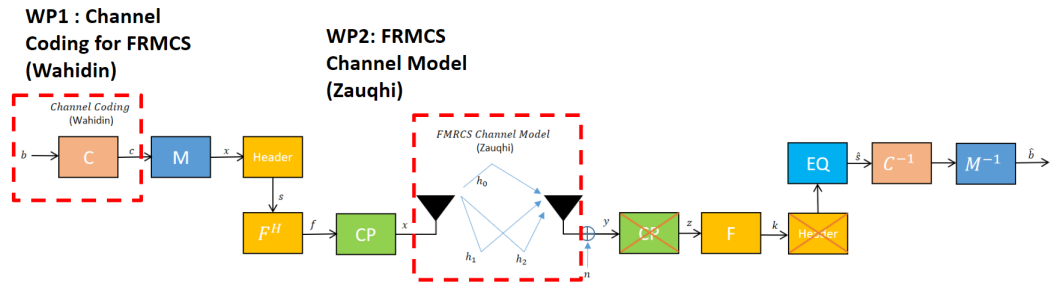
Sistem yang kami buat dalam Tugas Akhir ini tidak mudah dari berbagai sisi, karena: (i) penentuan frekuensi melibatkan pemerintah, (ii) biaya percobaan mahal, dan (iii) standar belum keluar seluruhnya.

1.3.2 Aspek Ekonomi

Pemerintah Indonesia saat ini sedang membangun infrastruktur kereta cepat Jakarta-Bandung. Pembangunan infrastruktur kereta cepat tersebut harus didukung oleh teknologi dan infrastruktur telekomunikasi yang memadai. Penelitian terkait teknologi telekomunikasi yang cocok untuk kereta cepat memerlukan waktu yang cukup lama dan biaya yang tidak sedikit. Penelitian kami diharapkan dapat membantu pemerintah dalam meminimalkan waktu dan biaya dalam merealisasikan teknologi telekomunikasi untuk kereta cepat. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi kinerja pengkodean kanal dan kinerja frekuensi terbaik dengan menggunakan model kanal FRMCS Indonesia.

1.3.3 Aspek Keberlanjutan

Hasil dari Tugas Akhir ini dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya sebagai referensi pengembangan penelitian sistem komunikasi persinyalan untuk kereta cepat



Gambar 1.5 Model sistem global untuk dikembangkan.

dan untuk industri kereta api sebagai referensi dalam merancang sistem komunikasi persinyalan kereta cepat.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Ada beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi untuk mendukung teknologi persinyalan kereta cepat, yaitu :

1. EMBB untuk menyediakan kecepatan data yang tinggi.
2. URLLC dengan latensi yang rendah.
3. Kinerja frekuensi terbaik antara 900 dan 1900 MHz.

Kemudian, hasil kinerja BER dengan menggunakan pengkodean kanal 5G NR QC-LDPC *codes* model kanal FRMCS Indonesia pada kinerja frekuensi terbaik antara 900 dan 1900 MHz sesuai dengan spesifikasi CD-2.

1.5 Tujuan

Adapun tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan analisis pengkodean kanal kode 5G NR QC-LDPC *codes* berbasis teknik *density evolution* dan simulasi kinerja BER dengan berbagai pola iterasi.
2. Membuat model kanal FRMCS Indonesia pada frekuensi 900 dan 1900 MHz dan menentukan kinerja frekuensi terbaik.

1.6 Solusi Sistem yang Diusulkan

Tugas Akhir ini mengusulkan dua solusi sistem yaitu sistem LTE dan 5G NR. LDPC *codes* terbukti memiliki kinerja BER yaitu 0.0045 dB mendekati kapasitas

Shannon dengan rate $R = 1/2$ [10]. Sedangkan, Turbo *codes* memiliki kinerja BER yaitu 0.7 dB mendekati kapasitas Shannon dengan *rate* yang sama [11]. LDPC *codes* terbukti memiliki kinerja yang lebih baik dari Turbo *codes* dengan *rate* yang sama dan panjang blok yang sangat besar. LDPC *codes* juga memiliki kompleksitas yang rendah. Gambar 1.5 menunjukkan sistem global dari Tugas Akhir ini.

1.6.1 Karakteristik Sistem

Karakteristik sistem dalam Tugas Akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. **Fitur Utama:** Mampu melakukan transmisi bit informasi dari Tx ke Rx dengan nilai kinerja BER dibawah 10^{-5} pada SNR tertentu.
2. **Fitur Dasar:**
 - Mampu mengoreksi bit informasi yang salah saat diterima di Rx dengan menggunakan teknik pengkodean kanal QC-LDPC *codes*.
 - Memiliki *coding rate* yang mampu beradaptasi dengan kondisi kanal.
 - Mampu mengetahui kinerja pengkodean kanal 5G NR QC-LDPC *codes* dengan analisis *density evolution*.
 - Terjadi penghematan daya ketika mentransmisikan informasi dari Tx ke Rx.
 - Memiliki reliabilitas transmisi yang baik.
 - Mengetahui *outage probability* dari frekuensi yang berbeda.

1.6.2 Skenario Pengujian

Adapun beberapa skenario yang kami gunakan adalah sebagai berikut.

1. Skema dengan Menggunakan Pengkodean Kanal

Tugas akhir ini melakukan simulasi kinerja pengkodean kanal 5G NR yaitu QC-LDPC *codes* yang dilakukan pada kanal AWGN dengan berbagai pola iterasi.

2. Skema dengan menggunakan model kanal FRMCS

Tugas akhir ini melakukan simulasi *channel model* FRMCS pada frekuensi 900 dan 1900 MHz. Hasil dari simulasi *channel model* FRMCS akan digunakan untuk menghitung kapasitas dan *outage performance* untuk membandingkan kinerja kedua frekuensi tersebut.