

BAB I

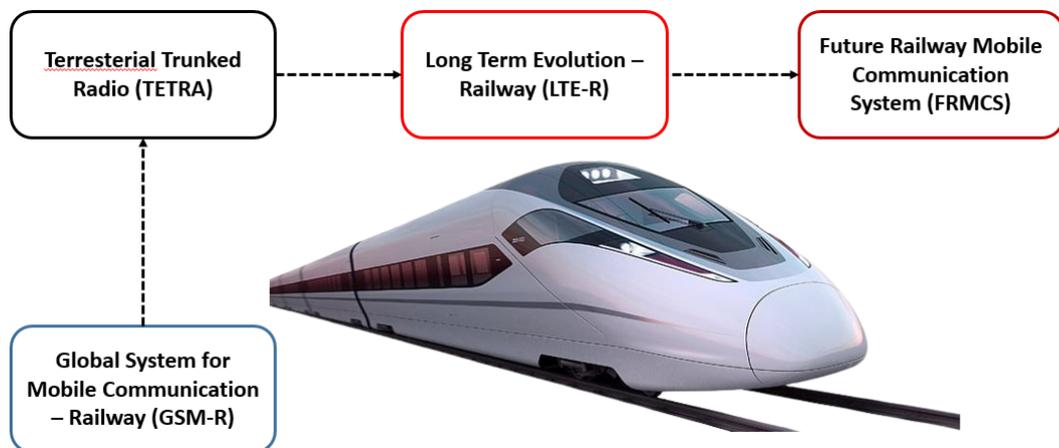
USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

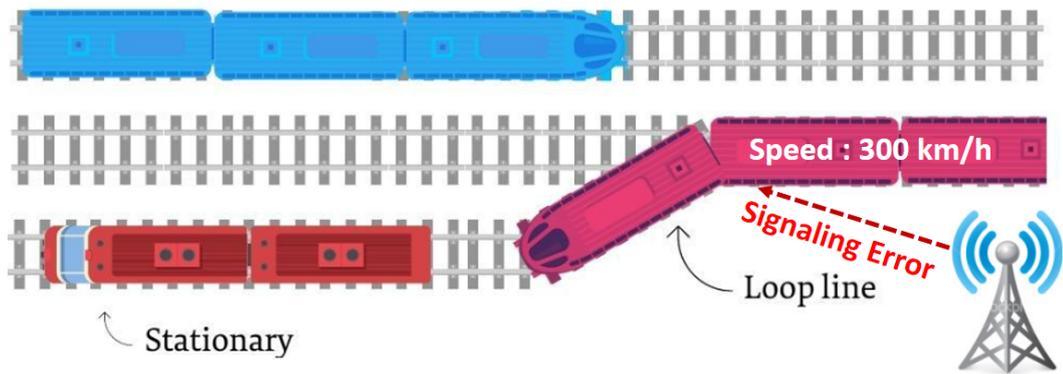
Pemerintah Indonesia saat ini sedang melakukan pembangunan infrastruktur kereta cepat di Indonesia dan ditargetkan mulai beroperasi pada Tahun 2023. Pembangunan infrastruktur kereta cepat harus didukung pula oleh infrastruktur telekomunikasi yang memadai. Sistem persinyalan kereta cepat pada dasarnya 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, 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 [1] dan ETSI TR 103 459 [2], FRMCS telah ditetapkan berbasis teknologi 5G NR. FRMCS mendukung kecepatan data hingga 20 *gigabyte per second (Gbps)* untuk *downlink* dan 10 Gbps untuk *uplink* [3]. 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 [4].

Kereta cepat dirancang untuk memiliki kecepatan hingga mencapai 500 km/jam [5]. Dalam sistem komunikasi, kecepatan tinggi menyebabkan efek



Gambar 1.1 Perkembangan teknologi persinyalan kereta cepat.



Gambar 1.2 Permasalahan sistem komunikasi pada transportasi berkecepatan tinggi.

Doppler. Teknologi OFDM dirancang memiliki kanal yang tetap, sedangkan 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 3GPP dan ITU untuk teknologi persinyalan kereta cepat antara 900 MHz dan 1900 MHz. 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*, sinkronisasi, 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)*.



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

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.

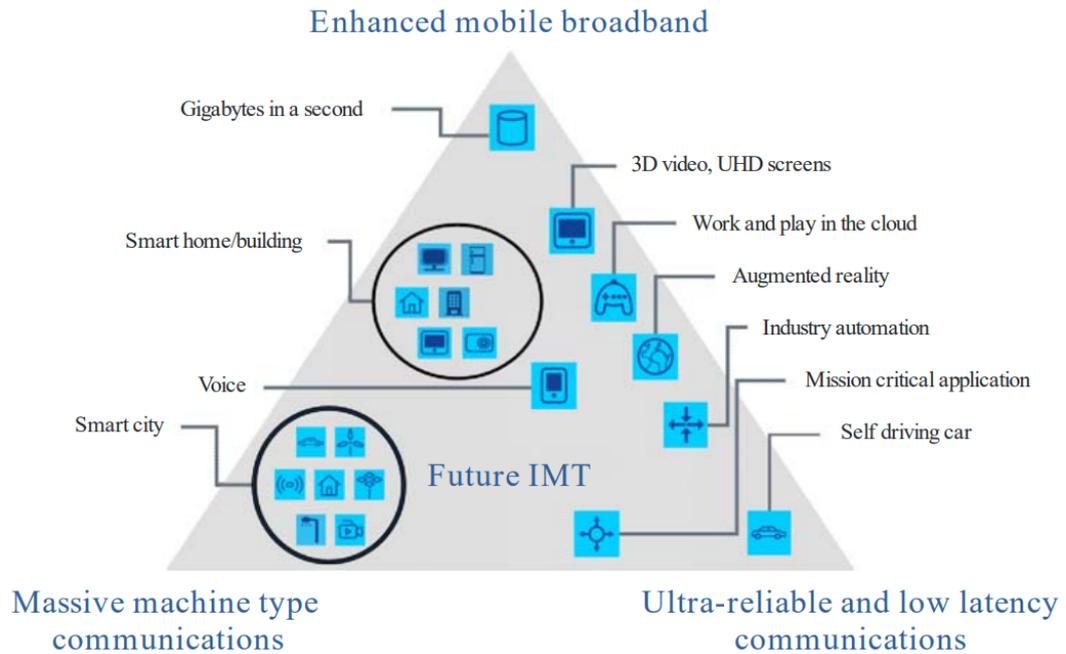
1.3 Analisis Umum

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



Gambar 1.4 Kebutuhan utama teknologi 5G NR.

teknologi telekomunikasi untuk kereta cepat. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi kinerja pengkodean kanal, sinkronisasi, dan kinerja frekuensi terbaik dengan menggunakan model kanal FRMCS Indonesia.

1.3.3 Aspek Keberlanjutan

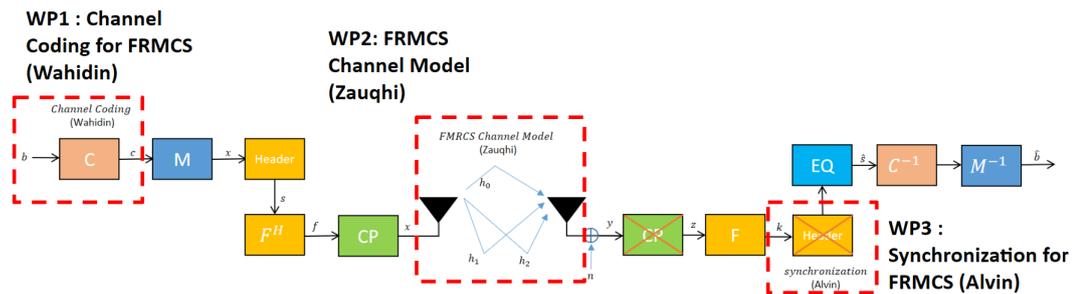
Hasil dari Tugas Akhir ini dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya sebagai referensi pengembangan penelitian sistem komunikasi persinyalan untuk kereta cepat dan untuk industri kereta api sebagai referensi dalam merancang sistem komunikasi persinyalan kereta cepat.

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 MHz dan 1900 MHz.

Kemudian, hasil kinerja BER dengan menggunakan pengkodean kanal 5G NR QC-LDPC *codes* dan teknik sinkronisasi 5G NR dengan model kanal FRMCS Indonesia



Gambar 1.5 Model sistem global untuk dikembangkan.

pada kinerja frekuensi terbaik antara 900 MHz 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. Menganalisis teknik sinkronisasi pada teknologi 5G NR dan membandingkan kinerja *error ratio* pada beberapa kecepatan dengan model kanal FRMCS Indonesia (sedang dalam tahap penelitian).
3. Membuat model kanal FRMCS Indonesia pada frekuensi 900 MHz dan 1900 MHz dan menentukan kinerja frekuensi terbaik.

Solusi terkait sinkronisasi dan pemilihan frekuensi saat ini sedang dalam tahap penelitian.

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 $R = 1/2$ [6]. Sedangkan, Turbo *codes* memiliki kinerja BER yaitu 0.7 dB mendekati kapasitas Shannon dengan *rate* yang sama [7]. 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.

Tabel 1.1 Solusi sistem yang diusulkan dengan sistem LTE.

No	Hal	Rincian
1	Jenis Pengkodean Kanal	<i>Turbo Codes</i>
2	Jenis Sinkronisasi	<i>Hybrid automatic repeat request (ARQ) Indicator Channel</i>

Tabel 1.2 Solusi sistem yang diusulkan dengan sistem 5G NR.

No	Hal	Rincian
1	Jenis Pengkodean Kanal	<i>5G NR QC-LDPC Codes</i>
2	Jenis Sinkronisasi	<i>Primary Synchronization Signal</i>

1.6.1 Karakteristik Sistem

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* dan sinkronisasi.
 - 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.
 - Mampu melakukan sinkronisasi dengan *error rate* dibawah 10^{-5} pada SNR tertentu.
 - 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 Sinkronisasi

Tugas akhir ini melakukan simulasi kinerja sinkronisasi pada teknologi 5G NR dengan menggunakan model kanal FRMCS Indonesia. Simulasi dilakukan pada kanal AWGN dan kanal Rayleigh *fading*. Evaluasi kinerja dilakukan pada kecepatan kereta cepat 350 km/jam dan 500 km/jam.