

## PERANCANGAN COVERAGE DAN CAPACITY JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) FREKUENSI 700 MHZ PADA JALUR KERETA API

Galuh Prihatmoko<sup>1</sup>, A. Ali Muayyadi<sup>2</sup>, Heroe Wijanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

### Abstrak

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi berbasis Internet Protocol (IP) yang mendukung transfer paket data dengan rate yang tinggi. Teknologi ini akan dapat memenuhi kebutuhan para user akan komunikasi paket data yang terus meningkat beberapa tahun belakangan.

Di sisi lain, user dapat bergerak dengan kecepatan tinggi dengan menggunakan alat transportasi apapun. Salah satu alat transportasi yang mempunyai kecepatan tinggi adalah kereta api, yang juga merupakan salah satu alat transportasi favorit penduduk Indonesia, khususnya di Pulau Jawa. Tentunya para user yang sedang menggunakan jasa transportasi ini membutuhkan layanan transfer data termasuk saat kereta melaju dengan kecepatan tinggi untuk memenuhi kebutuhan komunikasi mereka pada era LTE.

Dalam Tugas Akhir ini, telah dirancang jaringan macro cell yang dikhususkan di sepanjang jalur kereta api untuk menciptakan performansi jaringan LTE di dalam kereta api itu sendiri. Dengan memperhatikan aspek kecepatan, throughput, trafik, serta intensitas user di dalam kereta api didapatkan overlapping coverage agar handover dapat berjalan dengan sukses. Sehingga didapatkan rancangan macro cell yang sesuai untuk support high data rate bagi penumpang di kereta api. Hasil dari penelitian tugas akhir ini, menunjukkan bahwa jaringan LTE membutuhkan delay trafik sebesar 43 ms dan delay handover sebesar 89 ms. Dari delay tersebut didapatkan nilai overlapping coverage sebesar 10%. Nilai overlapping coverage hasil perhitungan tersebut, dibandingkan dengan skenario lain, yakni tanpa overlapping, 40% overlapping dan 100% overlapping. Hasilnya, jaringan tersebut mempunyai performansi yang paling optimal diantaranya level daya rata-rata mencapai -80,9 dBm dan 78% area ter-cover diatas standar level daya minimum yang dicakup oleh 19 sel dari studi kasus jalur kereta api Jakarta hingga ke Cirebon.

Kata Kunci : Long Term Evolution (LTE), macro cell, delay, overlapping coverage, handover.



Telkom  
University

#### Abstract

Long Term Evolution (LTE) is a technology based on Internet Protocol (IP) that supports high data rate transfer of packet data. This technology will be able to meet the needs of users data communication that rised in recent years.

On the other hand, the user can move at high speed by using means of transportation. One of the tools that have a high-speed transport is train, which is also a favorite means of transportation in Indonesia. Most of users who are using this transportation service requires the services of packet data also when the train drove at high speed to meet their needs of communication.

In this research, design of a macro cell network dedicated along the railway lines to create an optimal network performance of LTE on the train. The design will be conducted at a frequency of 700 MHz using Frequendy Division Duplexing (FDD) with 10 MHz of bandwidth. With due respect of speed, bitrate, traffic, and intensity of the user on the train, we will get overlapping coverage for handover that can be run succesfully at a high speed. The results of this research, shows that the LTE network requires traffic delay of 43 ms and the handover delay of 89 ms. From the system total delay was obtained value by 10% overlapping coverage. Compared to other scenarios, ie, without overlapping, 40% overlapping and 100% overlapping, this network has optimal performance which the average power level reaches -81.6 dBm, average SINR 5.5 dB, and 78% area cover was above the standard of minimum power level that covered by 19 cells for case study of Jakarta to Cirebon railroad.

Keywords : Long Term Evolution (LTE), macro cell, delay, overlapping coverage, handover.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Long Term Evolution (LTE)

*Long Term Evolusion (LTE)* adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah projek dari *Third Generation Partnership Project (3GPP)* untuk memperbaiki standart mobile phone generasi ke-3 (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE ini merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSDPA (3.5G) yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). Pada UMTS kecepatan transfer data maksimum adalah 2 Mbps, pada HSDPA kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,6 Mbps pada sisi *uplink*, pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada baik *voice*, data, *video*, maupun ip TV.

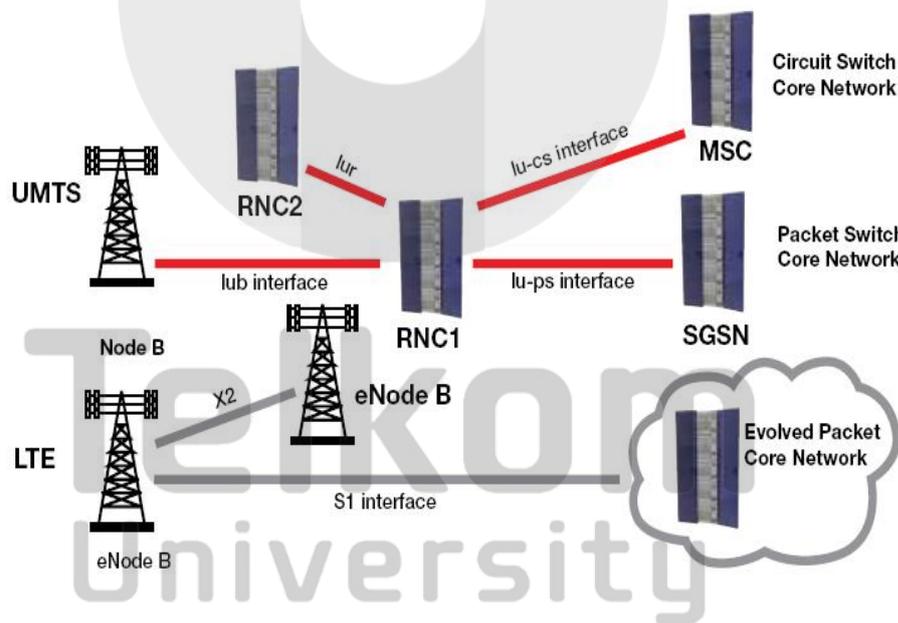
*Long Term Evolusion (LTE)* diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari *Long Term Evolusion (LTE)* terhadap teknologi sebelumnya selain dari kecepatannya dalam transfer data tetapi juga karena *Long Term Evolusion (LTE)* dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dari layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan multiple-antena, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada.

Pada sisi *air interface Long Term Evolusion (LTE)* menggunakan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan menggunakan SC-FDMA pada sisi *uplink*. Dan pada sisi antena *Long Term Evolusion (LTE)* mendukung penggunaan *multiple-antenna (MIMO)*. *Bandwidth* operasi pada *Long Term Evolusion (LTE)* fleksibel yaitu *up to 20 MHz*, dan maksimal bekerja pada kisaran *bandwidth* bervariasi antara 10 – 20 MHz.

### 2.1.1 Konfigurasi Jaringan LTE

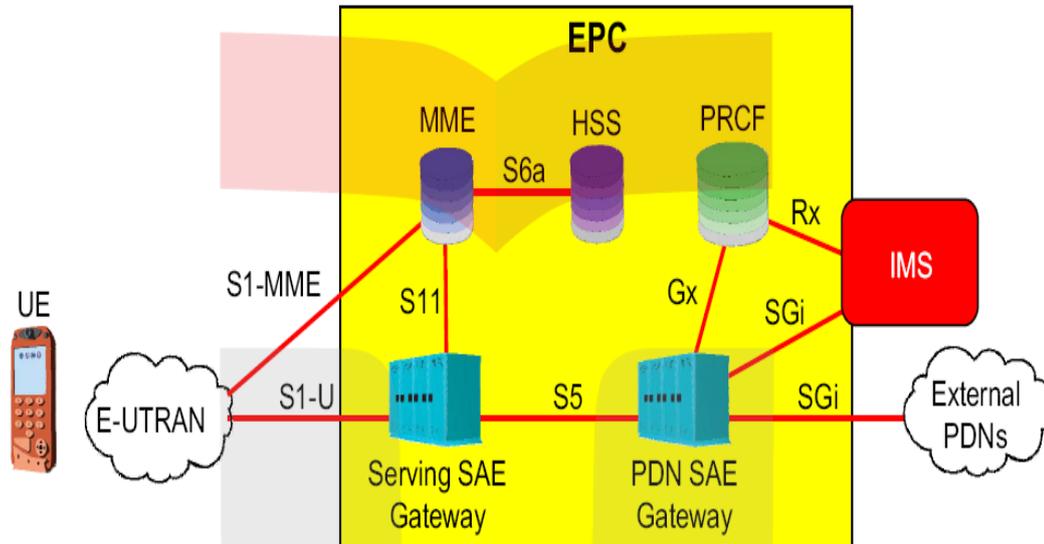
Dalam suatu konfigurasi jaringan telekomunikasi bergerak dalam hal ini *Long Term Evolution (LTE)* diperkenalkan suatu jaringan baru yang diberi nama EPS (*Evolved Packet System*). EPS terdiri dari jaringan akses yang pada LTE disebut dengan E – UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network*) dan jaringan core yang pada LTE disebut SAE. SAE merupakan istilah yang menggambarkan evolusi jaringa core menuju ke disebut EPC (*Evolved Packet Core*). Pada *Long Term Evolution (LTE)* konfigurasinya merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu baik UMTS (3G) dalam hal ini merupakan *Release 99/4* dan HSPA *Release 6*, *Long Term Evolution (LTE)* merupakan standar release 8.

*Long Term Evolution (LTE)* mempunyai *radio access* dan *core network* yang dapat mengurangi *network latency* dan meningkatkan performansi sistem dan menyediakan *interoperability* dengan teknologi 3GPP yang sudah ada dan non-3GPP.



**Gambar 2.1** Arsitektur LTE dibandingkan dengan UMTS

Terlihat dari gambar diatas ada perbedaan antara arsitektur kedua jaringan. Pada LTE fungsi dari *Node B* dan *RNC* yang terdapat pada UMTS dilebur menjadi satu, yaitu *eNB (Evolved Node B)*. Dan pada bagian core networknya LTE menggunakan *EPC (Evolved Packet Core)*.



**Gambar 2.2** Arsitektur *Core LTE*

Elemen – elemen dari arsitektur jaringan LTE adalah :

- *UE (User Equipment)* : merupakan terminal radio yang digunakan untuk melakukan hubungan ke jaringan LTE.
- *E – UTRAN* :
  - *ENB (Elvoved Node B)*

Peran dari *Radio Access Network (RAN)* yaitu *Node B* dan *RNC* digantikan dengan *ENB* ini, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan dan operasional dari perangkat selain itu arsitektur jaringan lebih sederhana.
- *Core Network*. Terdiri dari :
  - *Mobility Management Entity (MME)*

- MME ini merupakan pengontrol setiap node pada jaringan akses LTE. Pada saat UE dalam kondisi idle (*idle mode*), MME bertanggung jawab dalam melakukan prosedur *tracking* dan *paging* yang didalamnya mencakup *retransmission*.
- MME bertanggung jawab untuk memilih SGW (*Serving SAE Gateway*) yang akan digunakan UE saat initial attach dan pada waktu UE melakukan intra – LTE *handover*.
- Digunakan untuk *bearer control*, berbeda dengan R99/4 yang masih dikontrol oleh *gateway*
- *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*  
Untuk menangani QoS serta mengontrol *rating* dan *charging*
- *Home Subscriber Server (HSS)*  
Untuk *subscriber management* dan *security*
- *Serving SAE Gateway (SGW)*
  - Mengatur jalan dan meneruskan data yang berupa *packet* dari setiap *user*
  - Sebagai jangkar / penghubung antara UE dengan eNB pada waktu terjadi *inter – handover*
  - Sebagai link penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi 3GPP(dalam hal ini 2G dan 3G)
- *Packet Data Network Gateway (PDN GW)*
  - Menyediakan hubungan bagi UE ke jaringan paket
  - Menyediakan link hubungan antara teknologi LTE dengan teknologi non – 3GPP (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA 20001X dan EVDO)

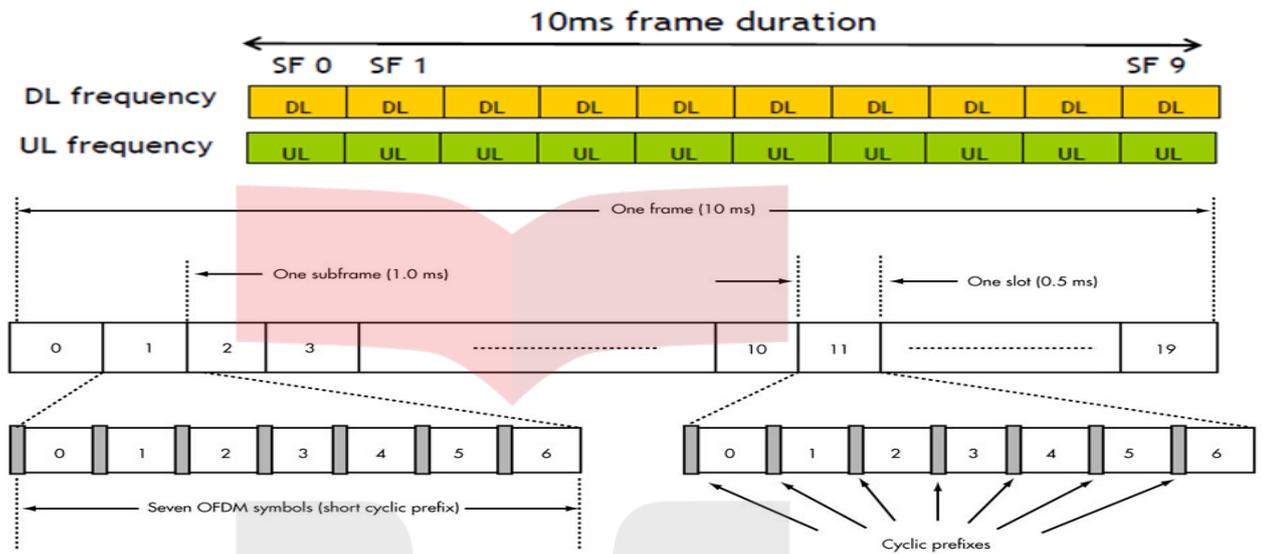
## 2.2 LTE Frequency Division Duplex (FDD) dan Time Division Duplex (TDD)

Pada LTE terdapat 2 mode *duplexing* yang bisa diterapkan, yaitu mode FDD (*Frequency Division Duplex*) dan mode TDD (*Time Division Duplex*). Pada FDD, penggunaan kanal dibedakan berdasarkan frekuensi. Sedangkan pada mode TDD, penggunaan kanal dibedakan berdasarkan waktu. Berikut adalah perbedaan mode LTE TDD dengan LTE FDD :

**Tabel 2.1** Perbandingan LTE FDD dan LTE TDD

Parameter	LTE TDD	LTE FDD
<b>Hardware</b>	Tidak ada <i>duplexer</i> pada <i>receiver</i> dan <i>transmitter</i> .	Membutuhkan <i>duplexer</i> untuk memisahkan frekuensi <i>downlink</i> dan <i>uplink</i>
<b>Hubungan antar kanal</b>	Kanal propagasi sama pada kedua arah digunakan untuk <i>channel</i> estimasi	Karakteristik kanal berbeda pada kedua arah karena menggunakan frekuensi yang berbeda
<b>Guard band</b>	-Membutuhkan <i>guard band</i> untuk menjaga agar tidak <i>overlap</i> antara <i>downlink</i> dan <i>uplink</i>  -Cell yang besar akan membutuhkan <i>guard band</i> yang besar pula (perbedaan <i>timing</i> antara <i>user</i> yang jauh dan <i>user</i> yang dekat)	-Membutuhkan <i>guard band</i> untuk menjaga agar ada pembatas antara <i>uplink</i> dan <i>downlink</i>  - <i>Guard band</i> yang lebar tidak berpengaruh pada efisiensi spektrum
<b>Interferensi antar slot</b>	Membutuhkan sinkronisasi antar <i>base station</i> . Interferensi dapat terjadi antara <i>base station</i> yang bersebelahan	Tidak ada
<b>Perbandingan UL dan DL</b>	Dinamik sesuai kebutuhan	Statik sesuai dengan ketentuan

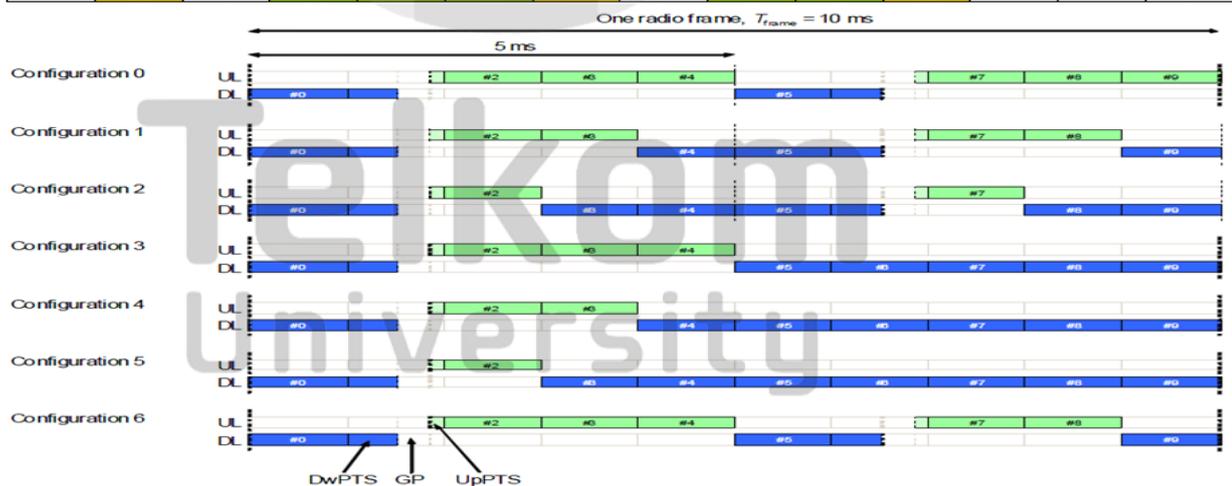
Struktur frame pada mode FDD dibagi menjadi 20 slot dimana tiap slot memiliki durasi waktu 0,5 ms. TTI (*Transmission Time Interval*) terdiri dari 2 slot atau yang sering disebut dengan satu *subframe*.



**Gambar 2.3** Struktur Frame LTE FDD

Sedangkan struktur frame pada mode TDD terdapat 7 kemungkinan rasio perbandingan antara *uplink* dan *downlink* dengan panjang durasi framenya 10 ms.

DL:UL											DL TTI	UL TTI	S TTI
1:3	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	UL	2	6	2
2:2	DL	S	UL	UL	DL	DL	S	UL	UL	DL	4	4	2
3:1	DL	S	UL	DL	DL	DL	S	UL	DL	DL	6	2	2
6:3	DL	S	UL	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL	6	3	1
7:2	DL	S	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	7	2	1
8:1	DL	S	UL	DL	8	1	1						
3:5	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	DL	3	5	2



**Gambar 2.4** Struktur Frame LTE TDD

### 2.3 Standar 3GPP Untuk Frekuensi Kerja LTE [6]

Kelompok kerja 3GPP merumuskan beberapa frekuensi kerja untuk masing-masing bandwidth kanal pada teknologi LTE. Berikut adalah frekuensi yang direkomendasikan untuk bandwidth 10 MHz:

**Tabel 2.2** Rekomendasi Frequency 3GPP

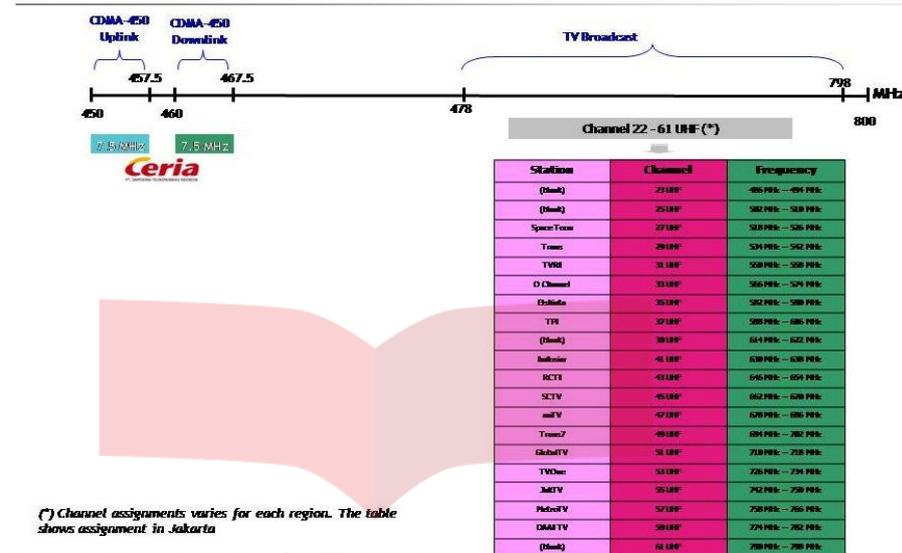
Uplink (UL) operating band			Downlink (DL) operating band			Duplex Mode
BS receive			BS transmit			
UE transmit			UE receive			
FUL_low – FUL_high			FDL_low – FDL_high			
698 MHz	–	716 MHz	728 MHz	–	746 MHz	FDD
777 MHz	–	787 MHz	746 MHz	–	756 MHz	FDD
788 MHz	–	798 MHz	758 MHz	–	768 MHz	FDD
704 MHz	–	716 MHz	734 MHz	–	746 MHz	FDD

### 2.4 Penggunaan Spektrum Frekuensi Di Indonesia [6]

Frekuensi merupakan sumberdaya terbatas yang sangat diperlukan untuk telekomunikasi. Karena itulah perlu adanya regulasi frekuensi, yang dalam hal ini dilaksanakan oleh Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi (Dirjenpostel). Berikut adalah penjelasan mengenai penggunaan frekuensi di Indonesia, mulai dari frekuensi 450 Mhz, hingga 2700 Mhz.

Pada frekuensi 450 Mhz hingga 467 Mhz, digunakan untuk komunikasi seluler yang bersifat fix wireless, oleh operator Ceria. Sedangkan untuk frekuensi 478-978 Mhz, digunakan untuk broadcast TV. Pada frekuensi inilah perlu adanya pengkajian ulang, karena tidak lama lagi, Indonesia akan masuk ke era TV digital. Ada kemungkinan frekuensi ini akan dialihkan penggunaannya untuk teknologi LTE. Kelebihannya, pada frekuensi ini, LTE akan memiliki jangkauan yang luas, karena bekerja di frekuensi rendah.

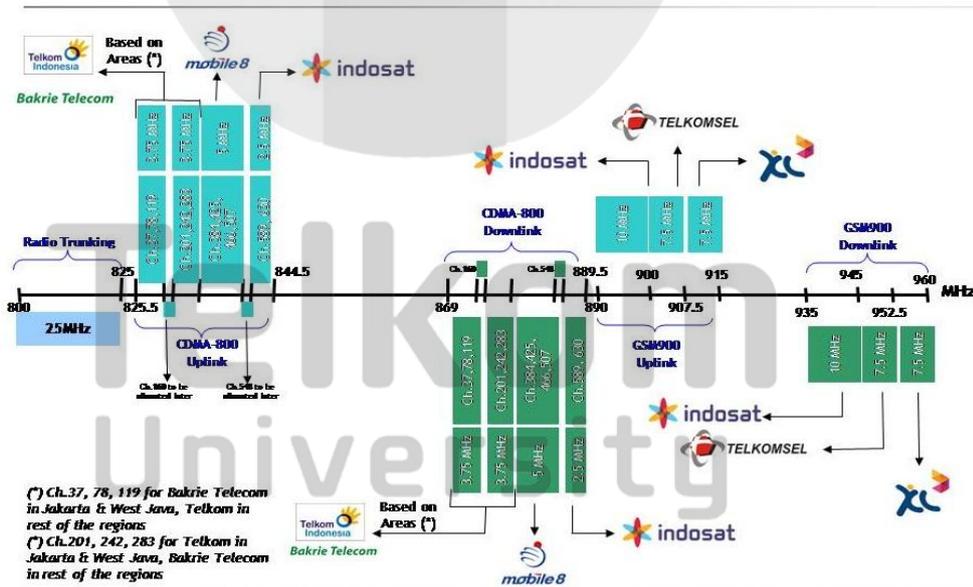
### 400-800 MHz



Gambar 2.5 Penggunaan frekuensi 400 – 800 MHz

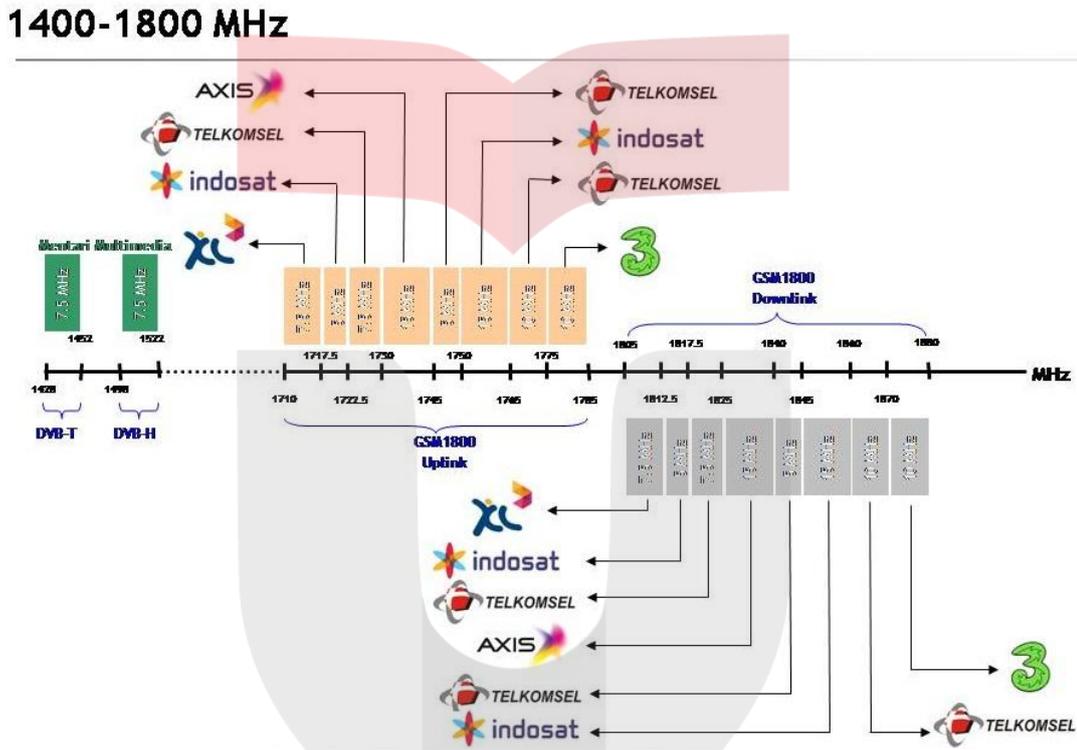
Pesatnya pertumbuhan teknologi telekomunikasi, menjadikan bertambah banyaknya operator di Indonesia. Pada frekuensi 800 Mhz hingga 960 Mhz, telah padat ditempati oleh beberapa operator, baik operator GSM maupun CDMA.

### 800-900 MHz



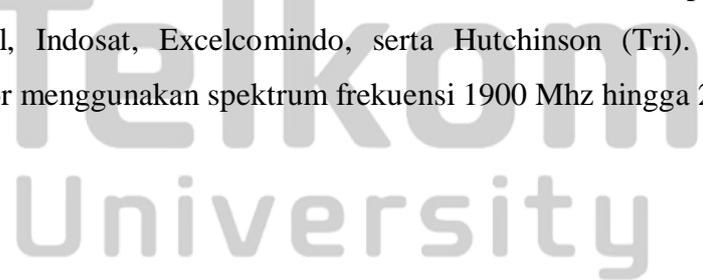
Gambar 2.6 Penggunaan frekuensi 800 – 900 MHz

Beberapa operator tersebut adalah Telkomsel, Indosat, Excelcomindo, Bakrie Telecom, Telkom Indonesia dengan Flexi nya, serta Mobile 8. Pada range frekuensi ini sudah tidak dimungkinkan adanya penambahan teknologi baru. Satu-satunya cara adalah dengan memindahkan teknologi tersebut ke frekuensi lain, dan menggantinya dengan teknologi baru.

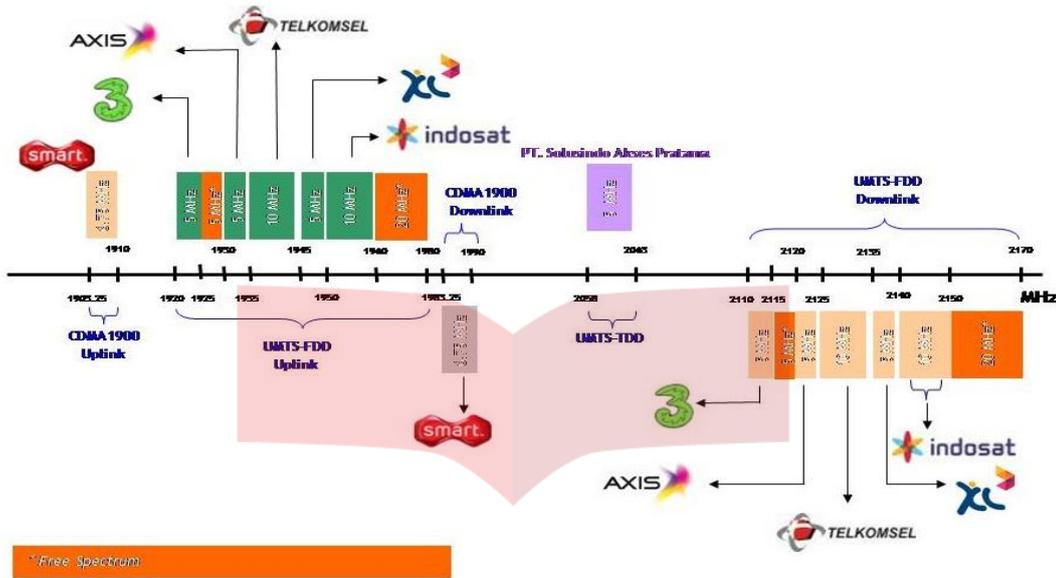


Gambar 2.7 Penggunaan frekuensi 1400 – 1800 MHz

Sedangkan di frekuensi 1700-1880 Mhz, telah dihuni oleh operator-operator GSM, yakni Telkomsel, Indosat, Excelcomindo, serta Hutchinson (Tri). Untuk jaringan 3G, beberapa operator menggunakan spektrum frekuensi 1900 Mhz hingga 2100 Mhz.



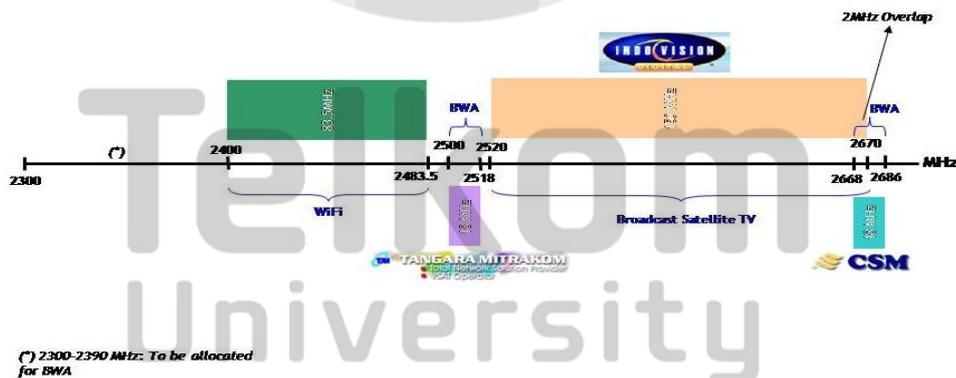
### 1900-2100 MHz



Gambar 2.8 Penggunaan frekuensi 1900 – 2100 MHz

Peluang untuk implementasi teknologi LTE ada di frekuensi 2500 MHz hingga 2670 MHz, yang selama ini digunakan untuk saluran Indovision. Untuk kedepannya, saluran ini akan dialihkan untuk teknologi LTE.

### 2300-2700 MHz



Gambar 2.9 Penggunaan frekuensi 2300 – 2600 MHz

## 2.5 Perencanaan Jaringan Seluler

Perencanaan jaringan seluler meliputi beberapa sudut pandang, yakni dari sudut pandang *coverage*, *capacity*, dan dari segi *finance* sebagai pengendali keduanya. *Coverage planning* merupakan langkah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter input jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain. Namun untuk *planning capacity* mempunyai parameter input berupa trafik yang dibutuhkan oleh user misal, macam-macam layanan jaringan, jumlah pengguna layanan, serta bandwidth yang dibutuhkan dari masing-masing layanan tersebut. Faktor *finance*, merupakan salah satu faktor pengendali dari kedua *planning* sebelumnya untuk mendapatkan nilai *trade off* yang dikehendaki oleh pihak operator. Dalam penelitian ini, tidak digunakan faktor analisa dari segi *finance* namun digunakan parameter level daya rata-rata, SINR rata-rata, jumlah sel, serta luas area yang *tercover* diatas nilai *threshold*. Secara teoritis [8], luas area yang *tercover* oleh jaringan, dengan nilai level daya terima diatas nilai sensitivitas *mobile station* adalah minimal 75% dari total area.

### 2.5.1 Model Propagasi LTE

Untuk mendapatkan konfigurasi *planning* berdasarkan *coverage* diperlukan pemodelan kanal propagasi, diantaranya adalah sebagai berikut:

#### a. Model Propagasi Okumura-Hatta

$$L_p = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_B - CH + [44,9 - 6,55 \log h_B] \log d \quad (1)$$

Model propagasi Okumura-Hatta ini lebih tepat diaplikasikan untuk perencanaan jaringan LTE pada frekuensi 700 MHz.

#### b. Model Propagasi Cost 231

$$L_p = 46,3 + 33,9 (\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d + C_M \quad (2)$$

Salah satu kandidat frekuensi yang dapat ditempati oleh LTE adalah pada frekuensi 2100 MHz. Untuk perancangan *coverage* pada frekuensi ini, dapat

digunakan model propagasi Cost 231 yang memang sesuai dengan range frekuensi kerja dari model propagasi tersebut.

**c. Model Propagasi SUI**

$$L_p = 109.78 + 47.9 \log (d/100) \tag{3}$$

Kandidat lain dari frekuensi kerja LTE adalah pada frekuensi 2600 MHz , yang saat ini masih ditempati oleh DVB-S. Perencanaan *coverage* pada frekuensi kerja ini dapat menggunakan model propagasi SUI yang sangat cocok digunakan untuk studi kasus di wilayah perkotaan.

**2.5.2 Perhitungan Kapasitas Jaringan LTE**

Kapasitas suatu jaringan merupakan salah satu tolak ukur dalam perencanaan, sehingga *engineer* dapat memprediksi seberapa besar jaringan dapat menampung *user* dengan berbagai macam layanan. Sistem LTE yang menerapkan konsep multicarrier, tentunya mempunyai kapasitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Berikut merupakan persamaan matematis untuk menghitung kapasitas jaringan LTE untuk tiap eNodeB nya:

$$peak\ bit\ rate\ [Mbps] = \frac{bit}{Hz} \times N_{Subcarriers} \times \frac{N_{symbol\ per\ subframe}}{1\ ms} \tag{4}$$

Keterangan :

- Peak bit rate : kapasitas eNodeB untuk mapper tertentu
- $\frac{bit}{Hz}$  : jumlah bit tiap symbol
- $N_{subcarriers}$  : jumlah subcarrier
- $N_{symbolpersubframe}$  : jumlah symbol tiap subframe

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan Hasil Penelitian

1. Performansi jaringan LTE saat mengalami mobilitas dengan kecepatan tinggi, akan mengakibatkan turunnya kualitas jaringan tersebut. Dalam penelitian ini, dapat dilihat dari menurunnya nilai throughput rata-rata masing-masing user dan bertambahnya delay system hingga 43 ms akibat pengaruh kecepatan mobilitas.
2. Perubahan pola pancar antenna dari 3 sektor dengan beamwidth  $65^{\circ}$  menjadi 2 sektor dengan beamwidth  $20^{\circ}$ , dapat meningkatkan nilai radius dari sel, yakni dari 5,248 km menjadi 7,345 km.
3. Total delay yang didapat oleh masing-masing user yang sedang bergerak, terdiri dari delay traffic sebesar 43 ms dan delay handover sebesar 89 ms.
4. Besarnya delay pada perancangan system ini akan digunakan untuk menentukan besarnya overlapping coverage dalam perencanaan ini. Dengan delay total sebesar 21,12 *second* dibutuhkan overlapping coverage sebesar 736,596 meter atau sekitar 10% dari jari-jari sel.
5. Jika dibandingkan dengan konfigurasi jaringan tanpa overlapping coverage, 40% overlapping coverage serta 100% overlapping coverage, nilai overlapping coverage 10% merupakan konfigurasi jaringan yang paling optimum.
6. Dengan konfigurasi tersebut, didapatkan rata-rata level daya terima sebesar -81,6 dBm serta area yang tercover dengan level daya lebih dari 85 dBm (standar dalam perhitungan awal) adalah sebesar 78% dari total area, memenuhi standar planning pada referensi yakni lebih dari 75%. Dari parameter SINR, didapatkan nilai SINR rata-rata sebesar 5,5 dB dan prosentase area yang tercover diatas nilai minimum SINR pada penelitian ini ( QPSK  $\frac{1}{2} = 1,5$  dB) adalah sebesar 81% dari total area yang tercover.
7. Jaringan LTE pada jalur kereta api study kasus jalur kereta api Jakarta – Cirebon untuk nilai overlapping coverage 10% membutuhkan infrastruktur sebanyak 19 buah sel.
8. Jaringan LTE untuk jalur kereta api dalam penelitian ini, dari segi kapasitas dapat menampung 160 user dengan berbagai macam layanan yang dapat mereka akses dengan perincian sebagai berikut:

- 16 user dapat mengakses layanan voice dengan bitrate masing-masing 32 kbps
- 60 user dapat mengakses layanan video dengan bitrate masing-masing 64 kbps
- 84 user dapat mengakses layanan best effort dengan bitrate masing-masing:
  - 148 kbps saat dalam coverage QPSK
  - 348 kbps saat dalam coverage 16QAM
  - 548 kbps saat dalam coverage 64QAM

## 5.2 Saran

1. Penelitian mengenai standar handover pada teknologi LTE, dibutuhkan agar implementasi dari penelitian ini dapat menghasilkan perhitungan yang mendekati kondisi nyata.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme handover untuk kasus mobilitas tinggi dengan sudut pandang parameter selain yang ada dalam penelitian ini.
3. Aplikasi dari perancangan jaringan LTE pada jalur kereta api ini, hendaknya tidak hanya untuk melayani kebutuhan akses data bagi para penumpang, namun dapat digunakan untuk keperluan lain misal:
  - Monitoring posisi kereta secara realtime dengan mengirimkan data GPS pada kereta api menggunakan jaringan LTE ini, sehingga dapat memperkecil prosentase kecelakaan kereta api. Mengingat selama ini PT KAI masih menggunakan GSM Railway dengan periode pengiriman informasi GPS setiap satu menit.
  - Sebagai media komunikasi antar kereta api serta antara kereta api dengan stasiun, untuk mengkoordinasi jadwal keberangkatan dan kedatangan secara realtime.
  - Untuk media komunikasi antar stasiun khususnya bagian loket penjualan tiket, mengenai informasi ketersediaan tempat duduk secara realtime.
  - Dan lain-lain.
4. Kerjasama antara PT KAI dengan pihak operator seluler, diperlukan untuk implementasi jaringan LTE ini. Dengan adanya fasilitas ini akan menarik minat pengguna jasa transportasi untuk menggunakan jasa kereta api dan diprediksi akan menaikkan pendapatan baik di pihak operator maupun pihak PT KAI.

5. Riset mengenai analisis kelayakan dari perancangan jaringan LTE ini perlu dilakukan, agar pihak terkait dapat memprediksi kebutuhan investasi dan prediksi pendapatan setelah jaringan ini diimplementasikan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 20101004\_Indonesia\_Cellular\_Broadcast\_Spectrum\_ED09. Alcatel-Lucent, Jakarta, September 2010
- [2] 3GPP TS 36.101 V9.4.0, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception
- [3] Fumin Zou, Xinhua Jiang, Zhanxi Lin. 2007. IEEE 802.20 Based Broadband Railroad Digital Network – Infrastructure for M-Commerce on the Train. China.
- [4] Fumin Zou, Xinhua Jiang, Zhanxi Lin. 2007. Implementing Wireless Broadband Digital Network for Railway Information System. China.
- [5] Holma Harri, Toskala Antti. 2007. WCDMA for UMTS HSPA Evolution and LTE. Nokia. Finland.
- [6] Kurniawan Usman Uke, Prihatmoko Galuh. 2010. *Frequency Selection Analysis of Long Term Evolution (LTE) Technology in Indonesia*, proceedings of the Quality in Research University of Indonesia. Bandung, Indonesia.
- [7] Kusuma Hendraningrat, Denny. 2011. Analisis Refarming Band Frekuensi Televisi Analog 700 Mhz untuk Implementasi Teknologi Long Term Evolution (LTE) di Indonesia. Bandung, Indonesia.
- [8] Permata Sari, Elvyra. 2011. Analisis Performansi Penjadwalan Paket Pada Jaringan LTE (*Long Term Evolution*) Arah *Downlink* Untuk Mendukung Layanan *Triple Play*. Bandung, Indonesia