

**ANALISIS PERGANTIAN BASE STATION PADA
JARINGAN LTE FREKUENSI 1800 MHz DAN 2100
MHz DI KECAMATAN PAUH, PADANG**

TUGAS AKHIR



NADIA PRATWIWI

1711072003

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI PADANG
2021**

**ANALISIS PERGANTIAN BASE STATION PADA
JARINGAN LTE FREKUENSI 1800 MHz DAN 2100
MHz DI KECAMATAN PAUH, PADANG**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana terapan dari Politeknik Negeri Padang**



NADIA PRATWIWI

1711072003

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI PADANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PERGANTIAN BASE STATION PADA JARINGAN LTE FREKUENSI 1800 MHz DAN 2100 MHz DI KECAMATAN PAUH, PADANG

Oleh:

Nadia Pratiwi

1711072003

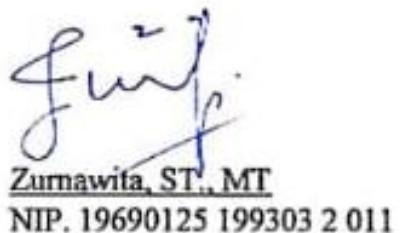
Disetujui/disahkan oleh:

Pembimbing I



Dr. Afrizal Yuhanef, ST., M.Kom
NIP. 19640429 199003 1 001

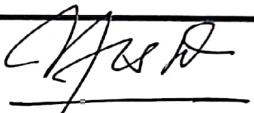
Pembimbing II



Zurnawita, ST., MT
NIP. 19690125 199303 2 011

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir yang berjudul Analisis Pergantian *Base Station* pada Jaringan LTE Frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz di Kecamatan Pauh, Padang ini telah disidangkan atau dipertanggungjawabkan di depan tim penguji sebagai berikut, pada hari Sabtu tanggal 9 Oktober 2021 di Program Studi D4 Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang.

No.	Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Dr. H. Nasrul, ST., M.Kom Nip. 19651130 199003 1 003	Ketua	
2.	Siska Aulia, ST.,MT Nip. 19880304 201504 2 001	Sekretaris	
3.	Sri Yusnita, ST.,MT Nip. 19740612 200312 2 001	Anggota	
4.	Dr. Afrizal Yuhane, ST., M.Kom Nip. 19640429 199003 1 001	Anggota	

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Rikki Viria SST., M.Sc.Eng
Nip. 19760109 200212 1 002

Koordinator Program Studi
D4 Teknik Telekomunikasi



Siflia Rifka, S.ST.,MT
Nip. 19770709 200312 2 002



NADIA PRATIWI	
BIODATA	
a) Tempat / Tgl Lahir	: Lubuk Alung/ 10 Januari 1999
b) Nama Orang Tua	: Agusnadi
c) Perguruan Tinggi	: Politeknik Negeri Padang
d) Jurusan / Prodi	: Teknik Elektro / D4 Teknik Telekomunikasi
e) No. BP	: 1711072003
f) Tanggal Lulus	: 9 Oktober 2021
g) Predikat Lulus	: Pujiyan
h) IPK	: 3.64
i) Lama Studi	: 4 tahun 1 bulan
j) Alamat Orang Tua	: Jorong Batang Palupuh, Kenagarian Koto Rantang, Kec. Palupuh, Kab. Agam

ANALISIS PERGANTIAN BASE STATION PADA JARINGAN LTE FREKUENSI 1800 MHz DAN 2100 MHz DI KECAMATAN PAUH, PADANG

Nama : Nadia Pratiwi

Pembimbing : 1) Dr. Afrizal Yuhanef, ST., M.Kom 2) Zurnawita, ST., MT

ABSTRAK JURUSAN

Peningkatan trafik jaringan disebabkan karena adanya ketidakseimbangan antara banyaknya *user* dan penyediaan kapasitas jaringan sehingga menyebabkan performansi jaringan menurun. Hal ini sering ditemukan di kawasan padat penduduk dengan jumlah *user* yang banyak sehingga penggunaan layanan akses seluler terbilang tinggi. Untuk itu perlu dilakukan optimasi jaringan, salah satunya dengan melakukan pergantian perangkat *existing (swap)*. Site 31140_Lubuk Bukit, Kecamatan Pauh, Padang merupakan salah satu *base station* yang memiliki *issue performance*, yaitu memiliki nilai *throughput* rendah (± 5 Mbps) dan nilai trafik tinggi yaitu 83 GB/hari dengan tipe perangkat *Flexi Multi Radio* dan antena sektoral. Oleh karena itu dilakukan pergantian perangkat *existing*, dari tipe perangkat FMR ke tipe *Airscale* yang meminimalkan penggunaan perangkat dan jenis antena sektoral (3 sektor) ke jenis multisektoral (6 sektor). Proses pengukuran dilakukan menggunakan dua metode yaitu model propagasi COST-231 untuk frekuensi 1800 MHz dan *Standford University Interim (SUI)* untuk frekuensi 2100 MHz serta parameter *Key Performance Indicator (KPI)* dengan parameter *accessibility*, *retainability*, *integrity*, *mobility*, *usage*, *loss propagasi* dan *receive power*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi yang dilakukan dengan metode *swap* dapat memperbaiki kinerja *site* tersebut, yaitu penurunan trafik mencapai 31,42% dan peningkatan *throughput* hingga 60% serta diikuti peningkatan parameter lainnya yang telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*).

Kata Kunci: *swap base station*, model propagasi, multisektoral, optimasi

Tugas Akhir ini telah dipertahankan di depan sidang penguji dan dinyatakan lulus pada tanggal : 9 Oktober 2021.
Abstrak telah disetujui penguji :

Tanda Tangan	1.	2.	3.	4.
Nama Terang	Dr. H. Nasrul ST., M.Kom NIP.19651130 199003 1 003	Siska Aulia, ST.,MT NIP. 19880304 201504 2 001	Sri Yusnita, ST.,MT NIP. 19740612 200312 2 001	Dr. Afrizal Yuhanef, ST., M.Kom NIP.19640429 199003 1 001

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Padang



Rikki Vitta, SST., M.Sc.Eng
NIP.19761019 200212 1 002

ABSTRAK

Analisis Pergantian *Base Station* Pada Jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz

Di Kecamatan Pauh, Padang

Nadia Pratiwi

Peningkatan trafik jaringan disebabkan karena adanya ketidakseimbangan antara banyaknya *user* dan penyediaan kapasitas jaringan sehingga menyebabkan performansi jaringan menurun. Hal ini sering ditemukan di kawasan padat penduduk dengan jumlah *user* yang banyak sehingga penggunaan layanan akses seluler terbilang tinggi. Untuk itu perlu dilakukan optimasi jaringan, salah satunya dengan melakukan pergantian perangkat *existing (swap)*. Site 31140_Lubuk Bukit, Kecamatan Pauh, Padang merupakan salah satu *base station* yang memiliki *issue performance*, yaitu memiliki nilai *throughput* rendah ($\pm 5\text{Mbps}$) dan nilai trafik tinggi yaitu 102,23 GB/hari dengan tipe perangkat *Flexi Multi Radio* dan antena sektoral. Oleh karena itu dilakukan pergantian perangkat *existing*, dari tipe perangkat FMR ke tipe *Airscale* yang meminimalkan penggunaan perangkat dan jenis antena sektoral (3 sektor) ke jenis multisektoral (6 sektor). Proses pengukuran dilakukan menggunakan dua metode yaitu model propagasi COST-231 untuk frekuensi 1800 MHz dan *Standford University Interim* (SUI) untuk frekuensi 2100 MHz serta parameter *Key Performance Indicator* (KPI) dengan parameter *accessibility, retainability, integrity, mobility, usage, loss propagasi* dan *receive power*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi yang dilakukan dengan metode *swap* dapat memperbaiki kinerja *site* tersebut, yaitu penurunan trafik mencapai 31,42% dan peningkatan *throughput* hingga 60% serta diikuti peningkatan parameter lainnya yang telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*).

Kata Kunci : *swap base station*, model propagasi, multisektoral, optimasi

ABSTRACT

The Analysis Of Swap Base Station on The 1800 Mhz and 2100 Mhz LTE Networks in Kecamatan Pauh, Padang

Nadia Pratiwi

The increase in network traffic is due to an imbalance between the number of users and the provision of network capacity, causing network performance to decline. This is often found in densely populated areas where the speed of access to data packets perceived by the user is different. For this reason, it is necessary to optimize the network, one of which is by replacing existing devices (swap). Site 31140_Lubuk Bukit, Kecamatan Pauh, Padang is one of the base stations that has a performance issue, which has a low throughput value ($\pm 5\text{Mbps}$) and a high traffic value of 102,23 GB/day with the existing types of devices being Flexi Multi Radio and sectoral antennas. Therefore, the existing equipment is replaced, from the FMR type to the Airscale type which minimizes the use of sectoral equipment and antenna types (3 sectors) to multisectoral (6 sectors). The measurement process is carried out using two methods, namely the COST-231 propagation model for the 1800 MHz frequency and the Stanford University Interim (SUI) for the 2100 MHz frequency as well as the Key Performance Indicator (KPI) parameters with the parameters of accessibility, retainability, integrity, mobility, usage, propagation loss and receive power. The results showed that the optimization carried out by the swap method could improve the site's performance, namely a decrease in traffic reaching 31.42% and an increase in throughput up to 60% and followed by an increase in other parameters that have met the threshold value.

Keywords: swap base station, propagation model, multisectoral, optimization

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang mana berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pergantian *Base Station* Pada Jaringan LTE Frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz Di Kecamatan Pauh, Padang”.

Penelitian yang penulis angkat pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbandingan kualitas jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz di Kecamatan Pauh, Padang sebelum dan sesudah dilakukannya proses pergantian perangkat *base station* (metode *swap*) dengan menggunakan perhitungan model propagasi dan pengukuran *drive test* serta juga sebagai bahan ajar bagi mahasiswa khususnya program studi Teknik Telekomunikasi. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kurikulum DIV Teknik Telekomunikasi di Politeknik Negeri Padang. Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis tidak lepas dari bantuan yang berupa bimbingan, saran dan fasilitas – fasilitas dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Afrizal Yuhanef, ST., M.Kom dan Ibu Zurnawita, ST., MT selaku pembimbing I dan II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran demi kebaikan penulis selama proses penelitian Tugas Akhir ini.
2. Ibu Silfia Rifka, SST., MT selaku Koordinator Program Studi D.IV Teknik Telekomunikasi di Politeknik Negeri Padang.
3. Seluruh Dosen Teknik Telekomunikasi dan Teknisi Politeknik Negeri Padang atas segala pelajarannya selama ini.

4. Bapak Fauzan Efendi selaku Project Manager area Central Sumatera beserta karyawan PT. Cititus Solusi Indonesia yang telah membimbing saya selama proses penelitian Tugas Akhir ini.
5. Member *Rent Room* yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.
6. Para senior dan junior yang telah memberi nasihat dan semangat sehingga Laporan Tugas Akhir ini selesai tepat pada waktunya.
7. Dan seluruh pihak yang terlibat yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi bagi penulis hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang. Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu melimpahkan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan dan penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.

Padang, 5 Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Pembatasan Masalah.....	8
1.5 Manfaat	8
1.6 Sistematika Penulisan	9
BAB II LANDASAN TEORI	10
2.1 <i>Long Term Evolution (LTE)</i>	10
2.1.1 <i>User Equipment (UE)</i>	11
2.1.2 <i>Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)</i>	11
2.1.3 <i>Evolved Packet Core (EPC)</i>	12
2.2 Propagasi Gelombang Radio.....	14
2.2.1 Propagasi Gelombang Tanah (<i>Ground Wave</i>).....	14
2.2.2 Propagasi Gelombang Ionosfer (<i>Sky Wave</i>)	18
2.2.3 <i>Line of Sight (LOS)</i>	19

2.2.4 <i>Path Length</i>	19
2.2.5 Klasifikasi Daerah	20
2.2.6 Pemodelan Propagasi.....	21
2.3 Rekomendasi Optimasi Jaringan.....	27
2.4 <i>Key Performance Indicator Optimization</i>	30
2.5 <i>Drive Test</i>	36
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN.....	39
3.1 Lokasi dan Waktu Perancangan.....	39
3.2 Alur Perancangan.....	39
3.3 Pengumpulan Data <i>Base Station Existing</i>	41
3.4.1 <i>Survey Site</i>	41
3.4.2 Data KPI Statistik <i>Before Swap</i>	45
3.5 Optimasi Jaringan	47
3.5.1 Implementasi Pergantian Perangkat <i>Base Station</i>	49
3.5.2 Implementasi Pergantian Antena.....	54
3.6 Perhitungan dan Pengukuran Performasi Jaringan	58
3.6.1 Perhitungan Model Propagasi.....	58
3.6.2 Pengukuran Metode <i>Drive Test</i>	65
3.6.3 Pengolahan Data <i>Drive Test</i>	73
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	81
4.1 Hasil Data KPI <i>Before Swap</i>	81
4.2 Hasil Data KPI <i>After Swap</i>	81
4.3.1 Data KPI Statistik	82
4.3.2 Data KPI <i>Drive Test</i>	82
4.3 Hasil Perhitungan Model Propagasi.....	89

4.4 Perbandingan Data KPI <i>Before</i> dan <i>After Swap</i>	90
4.4.1 Perbandingan Parameter <i>Accessibility</i>	90
4.4.2 Perbandingan Parameter <i>Retainability</i>	93
4.4.3 Perbandingan Parameter <i>Integrity</i>	95
4.4.4 Perbandingan Parameter <i>Mobility</i>	97
4.4.5 Perbandingan Parameter <i>Usage</i>	99
4.4.6 Perbandingan Data Perhitungan dan Pengukuran Hasil Optimasi	102
BAB V PENUTUP.....	108
5.1 Kesimpulan	108
4.2 Saran	109
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur Jaringan LTE.....	11
Gambar 2. 2 Arsitektur EPC	12
Gambar 2. 3 Ilustrasi Direct Wave.....	15
Gambar 2. 4 Ilustrasi Surface Wave	16
Gambar 2. 5 Ilustrasi Tropospheric Wave	17
Gambar 2. 6 Ilustrasi Proses Defraksi Gelombang	17
Gambar 2. 7 Ilustrasi Proses Refraksi Gelombang	18
Gambar 2. 8 Ilustrasi Propagasi Gelombang Ionosfer	18
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Lokasi site_31140 Lubuk Bukit pada Google Earth	41
Gambar 3. 3 Perangkat Nokia Flexi Multi Radio (FXED dan FRGU).....	42
Gambar 3. 4 Perangkat Huawei	42
Gambar 3. 5 Tipe antena existing	43
Gambar 3. 6 Mechanical Down Tilt (MDT) dan Electrical Down Tilt (EDT).....	44
Gambar 3. 7 Interface Instalation Perangkat ASIA/ABIA Base Station Airscale	50
Gambar 3. 8 Aktual Instalasi Port Kabel Modul ASIA	50
Gambar 3. 9 Interface instalasi kabel optik ke modul ABIA dan Aktual Instalasi RF Optik	51
Gambar 3. 10 Aktual Instalasi Perangkat Base Station Tipe Airscale	52
Gambar 3. 11 Pemasangan FPKA.....	52
Gambar 3. 12 Pemasangan Konektor AHEGB	53
Gambar 3. 13 Pemasangan AHEGB di leg tower	53
Gambar 3. 14 Pemasangan Jumper dan Konektor Fiber Optic	54
Gambar 3. 15 Pemasangan Jumper Antena.....	55
Gambar 3. 16 Pemasangan Kit Mounting Antena	56
Gambar 3. 17 Pengecekan Cakupan Coverage Area	56
Gambar 3. 18 Tampilan Awal TEMS Investigation	65
Gambar 3. 19 Folder site	66
Gambar 3. 20 Open Map.....	66
Gambar 3. 21 Open file gcell	67

Gambar 3. 22 Tampilan gcell	67
Gambar 3. 23 Open file rute.....	67
Gambar 3. 24 Tampilan rute drive test	68
Gambar 3. 25 Tampilan Aplikasi Shorcut Master (Lite)	69
Gambar 3. 26 Konfigurasi Service Mode	69
Gambar 3. 27 Konfigurasi Lock Band 4G	69
Gambar 3. 28 Lock Band L1800.....	70
Gambar 3. 29 Lock Band L2100.....	70
Gambar 3. 30 Activated Equipment.....	70
Gambar 3. 31 Start Record.....	71
Gambar 3. 32 Start Download.....	71
Gambar 3. 33 Tampilan kecepatan download.....	72
Gambar 3. 34 Tracking drive test.....	72
Gambar 3. 35 Stop record	73
Gambar 3. 36 Tampilan Awal TEMS Discovery	73
Gambar 3. 37 Import Logfile	74
Gambar 3. 38 Pengisian Target Project dan Target Data.....	74
Gambar 3. 39 Proses Import Selesai	75
Gambar 3. 40 Membuat Dataset Project	75
Gambar 3. 41 Create Edit Composite	76
Gambar 3. 42 Memindahkan Data Logfile ke Dataset Project	76
Gambar 3. 43 Composite File	77
Gambar 3. 44 Menampilkan Hasil Plotting Drive Test.....	77
Gambar 3. 45 Tampilan hasil plotting drive test.....	78
Gambar 3. 46 Proses import gcell	80
Gambar 3. 47 Tampilan Plotting Logfile di MapInfo	80
Gambar 4. 1 Tampilan PCI L1800	83
Gambar 4. 2 Tampilan RSRP L1800	83
Gambar 4. 3 Tampilan SINR L1800	84
Gambar 4. 4 Tampilan Throughput Download L1800.....	85
Gambar 4. 5 Tampilan RSRP L2100	86

Gambar 4. 6 Tampilan SINR L2100.....	87
Gambar 4. 7 Tampilan Throughput Download L2100 (after).....	88
Gambar 4. 8 Grafik Accessibility Before Swap.....	90
Gambar 4. 9 Grafik Accessibility After Swap	91
Gambar 4. 10 Grafik E-RAB DR Before	94
Gambar 4. 11 Grafik E-RAB DR After	94
Gambar 4. 12 Grafik Throughput Download Before Swap	96
Gambar 4. 13 Grafik Throughput Download After swap	96
Gambar 4. 14 Grafik Intra dan Inter HO SR Before Swap	98
Gambar 4. 15 Grafik Intra dan Inter HO SR After Swap.....	98
Gambar 4. 16 Data Trafik Before dan After Swap	100
Gambar 4. 17 Trafik Jaringan LTE 1800 MHz.....	101
Gambar 4. 18 Trafik Jaringan LTE 2100 MHz.....	101
Gambar 4. 19 Perbandingan Loss Propagasi Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran.....	104
Gambar 4. 20 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran.....	105
Gambar 4. 21 Perbandingan Loss Propagasi Model Propagasi SUI dan Pengukuran	107
Gambar 4. 22 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi SUI dan Pengukuran	108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Okumura/Hatta.....	23
Tabel 2. 2 Parameter COST-231	24
Tabel 2. 3 Parameter Model Ericsson	26
Tabel 2. 4 Parameter Standford University Interim	27
Tabel 2. 5 Nilai Range Throughput Download	34
Tabel 2. 6 LTE KPI Threshold.....	34
Tabel 2. 7 Range Nilai RSRP	35
Tabel 2. 8 Range Nilai SINR	36
Tabel 3. 1 Konfigurasi antena site 31140_Lubuk Bukit (before swap)	44
Tabel 3. 2 Karakteristik tipe perangkat base station existing (before swap)	45
Tabel 3. 3 Datasheet perangkat modul base station	48
Tabel 3. 4 Datasheet Radio Network Planning perangkat antena.....	48
Tabel 3. 5 Konfigurasi antena site 31140_Lubuk Bukit (after swap)	57
Tabel 3. 6 Karakteristik tipe perangkat base station existing (after swap)	57
Tabel 3. 7 Data Site 31140_Lubuk Bukit dan Titik Sampel Mobile Station	58
Tabel 3.8 Data Site 31140_Lubuk Bukit dan Titik Sampel Mobile Station	58
Tabel 4. 1 KPI Statistik Before Swap	81
Tabel 4. 2 KPI Statistik After Swap.....	82
Tabel 4. 3 Perhitungan Model Propagasi COST-231.....	89
Tabel 4. 4 Perhitungan Model Propagasi SUI.....	89
Tabel 4. 5 Perbandingan Kapasitas UEs Active Before dan After Swap	92
Tabel 4. 6 Kuat sinyal dan Kualitas Sinyal After Swap.....	95
Tabel 4. 7 Perbandingan Loss Propagasi Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran	103
Tabel 4. 8 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran	104
Tabel 4. 9 Perbandingan Loss Propagasi Model Propagasi SUI dan Pengukuran	105
Tabel 4. 10 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi SUI dan Pengukuran	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Survei Site.....	A-1
Lampiran 2. Surrounding Area Mobile Station	A-5
Lampiran 3. Data KPI Statistik Before Swap Accessibility	A-10
Lampiran 4. Data KPI Statistik Before Swap Retainability.....	A-12
Lampiran 5. Data KPI Statistik Before Swap Mobility	A-14
Lampiran 6. Data KPI Statistik Before Swap Integrity dan Usage.....	A-16
Lampiran 7. Data KPI Statistik After Swap Accessibility	A-18
Lampiran 8. Data KPI Statistik After Swap Retainability	A-19
Lampiran 9. Data KPI Statistik After Swap Mobility.....	A-20
Lampiran 10. Data KPI Statistik After Swap Integrity dan Usage	A-21

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Layanan telekomunikasi berperan penting dalam kehidupan masyarakat sehingga membuat teknologi ini terus berkembang hingga saat ini . Diketahui melalui layanan yang diberikan para penggunanya dapat menyelesaikan pekerjaan, baik itu dalam hal pendidikan, ekonomi, politik dan lain sebagainya. Di Indonesia, saat ini sedang gencar mengembangkan teknologi 4G LTE bahkan untuk beberapa operator telekomunikasi sudah mulai peluncuran jaringan 5G (*Five Generation*) yang bertujuan untuk menunjang kualitas dan kuantitas jaringan yang disediakan bagi pengguna jaringan (*user*).

Dalam hal kecepatan akses paket data, jaringan *Long Term Evolution* (LTE) menawarkan kecepatan akses paket data yang jauh lebih cepat dari generasi sebelumnya, yaitu 100 Mbps untuk kecepatan *download* maksimum dan 50 Mbps untuk kecepatan *upload* maksimum. Namun hal yang demikian tidak berlaku pada daerah yang area padat penduduk dikarenakan kecepatan akses paket data yang dirasakan oleh pengguna akan menurun. Hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya pengguna layanan jaringan yang mengakibatkan *throughput* yang dihasilkan dan diterima oleh pelanggan tidak optimal. Menurut Fatoni dan sandra (2015), “Semakin banyaknya pengguna jaringan yang melakukan koneksi ke internet maka trafik jaringan akan semakin meningkat, sehingga kinerja jaringan akan menurun. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya beberapa masalah seperti menurunnya hal

kecepatan jaringan (*throughput*), *delay*, kehilangan data dalam pengiriman (*packet loss*) dan akan mengakibatkan nilai *jitter* akan semakin meningkat”.

Kecamatan Pauh, Padang, Sumatera Barat yang berada di garis lintang $0^{\circ}58'00"S$ dan garis bujur $100^{\circ}21'11"T$ merupakan salah satu kawasan padat penduduk, dimana berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Padang dalam angka 2020 jumlah penduduk Kecamatan Pauh mengalami peningkatan, yakni 75.387 jiwa (2018) meningkat menjadi 78.665 jiwa (2020) dengan kepadatan penduduknya 425 penduduk per km^2 (BPS Kota Padang, 2020). Dalam bidang komunikasi, kecamatan yang memiliki luas wilayah $146,29 \text{ km}^2$ yang terbagi dalam 9 kelurahan dan berlokasi di dataran tinggi, yakni 10-1.600 m dari permukaan laut dilayani oleh 22 menara telepon selular (*base station*) dengan rata-rata memiliki 2 *base station* dengan kondisi sinyal kuat di masing-masing daerahnya (BPS PODES, 2019).

Berdasarkan monitoring data statistik dari OSS PT. *Hutchison 3 Indonesia* (H3I), salah satu *base station* di wilayah Kecamatan Pauh, Padang yaitu *site 31140_Lubuk Bukit* terdapat *issue performance*, dimana rendahnya kapasitas *throughput* dan tingginya trafik menjadi inti permasalahan pada *site* ini. Data statistik menunjukkan nilai trafik pada *site 31140_Lubuk Bukit* mencapai angka 102,23 GB per hari dengan nilai *throughput* 2 Mbps – 8 Mbps (Nokia KPI Statistik, 2021). Kondisi trafik yang seperti ini melebihi batas standar intensitas H3I yaitu 80 GB per harinya dengan nilai *throughput* yang kurang dari nilai standar H3I, yaitu >10 Mbps. Permasalahan ini disebabkan oleh minimnya kapasitas jaringan di *base station*, sehingga menyebabkan terjadinya kemacetan lalu lintas jaringan dari

banyaknya *user* yang menggunakan jaringan dalam waktu yang bersamaan dan pada akhirnya berdampak terhadap *performance* jaringan.

Kapasitas jaringan pada suatu *base station* dapat dianalisa dari perangkat yang digunakan. Dari *survey site* yang dilakukan, diketahui perangkat yang terpasang pada *site* 31140_Lubuk Bukit adalah perangkat *base station type Flexi Multi Radio* dengan antena terpasang adalah jenis antena sektoral. *Base station* dengan tipe ini merupakan BTS yang dapat beroperasi dalam dua atau lebih *mode* radio, dimana persyaratan dalam pemrosesan pita dasar (*baseband*) untuk masing-masing teknologi berbeda secara substansial (menggunakan sistem modul terpisah untuk masing-masing teknologi). Untuk teknologi WCDMA dan LTE menggunakan sistem modul *multimode* (FSMx) sedangkan untuk teknologi GSM/EDGE menggunakan sistem modul EDGE khusus dengan kapasitas tinggi yaitu 18/36 TRX (Permatasari, 2013).

Selanjutnya untuk jenis antena terpasang adalah antena sektoral, dimana jenis antena ini merupakan antena yang memiliki pola radiasi terarah dan sesuai dengan karakter *beamwidth* yang berbeda sehingga nantinya berpengaruh terhadap *coverage area* (Hajiar Yuliana et all., 2020). Arah cakupan antena ini ditentukan oleh pola radiasi kemiringan tanah yang dapat disesuaikan dengan mengubah sudut kemiringan antena secara langsung, baik itu secara *mechanical tilt* (perubahan arah antena *tilting* dengan mengubah *tilt angle* yang terletak di *bracket* (pengait antena) dan *electrical tilt* (perubahan bentuk polarisasi antena yang diatur secara elektronik).

Kapasitas jaringan yang disediakan oleh perangkat diatas adalah 324 *Maximum number of active UEs* dengan menggunakan 3 sektoral antena

konfigurasi TRX 2/2/2 dan *maximum bitrate downlink* 300.000 kbps. Maka dapat dianalisa, rata-rata jumlah kepadatan penduduk 425 per km² dilayani oleh *base station base station* yang hanya memiliki kapasitas jaringan 324 UEs dengan *maximum bitrate downlink* 300.000 kbps, dengan kata lain jumlah kapasitas *user* dan *bitrate downlink* berbanding terbalik dengan jumlah kepadatan penduduk yang akan dilayani.

Berdasarkan permasalahan diatas perlu dilakukan optimasi jaringan guna untuk meningkatkan kapasitas dan *performance* jaringan sebelumnya. Salah satu proses optimasi yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan pergantian perangkat terhadap perangkat *existing*. Dalam hal ini PT. H3I (operator) yang bekerjasama dengan PT. Nokia (*vendor*) dan PT. Citius Solusi Indonesia (*sub contractor*) melakukan pergantian perangkat *base station site* 31140_Lubuk Bukit dari tipe perangkat *Flexi Multi Radio* dan jenis antena sektoral diganti ke tipe perangkat *Airscale* dan jenis antena multisektoral.

Salah satu kelebihan dari perangkat *Airscale* yang digunakan adalah memungkinkan user untuk dapat menjalankan semua topologi jaringan mulai dari 2G hingga 5G, serta teknologi radio *Cloud RAN* yang tergabung dalam satu perangkat saja (Nokia, 2019). Dimana pada pemakaian tipe perangkat ini lebih meminimalkan perangkat yang terpasang pada tipe sebelumnya (FMR) yang menggunakan perangkat yang berbeda untuk topologi jaringan yang berbeda. Sedangkan kelebihan dari antena multisektor *dual band* adalah memiliki dua *main lobe* atau yang bisa disebut dengan *Dual Beam Array* (DBA) dimana hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan *coverage* dan *capacity* dibandingkan dengan antena sektoral *single band* (K.S.Mantirri et al., 2014).

Hal ini didukung oleh penelitian dari Dongdong Fan et al., (2013) dan Foo et al., (2009) yang mendapatkan hasil bahwa terjadinya improvisasi *beam* khususnya untuk *coverage* di area *dense-urban* atau padat penduduk pada sebuah antena multisektoral. Selanjutnya hasil penelitian diatas dicoba untuk diimplementasikan oleh K.S.Mantirri et al., (2014), dimana pengimplementasiannya dilakukan secara acak di area tertentu yang jangkauannya lebih kecil (± 250 m) dengan tujuan untuk mengetahui *coverage* yang dihasilkan. Dari hasil pengimplementasian tersebut ditunjukkan perbaikan dari sisi level sinyal setelah dilakukan *swap* antena multisektoral.

Secara umum implementasi dari pergantian perangkat *base station* ini dibagi menjadi tiga tahap, yaitu proses instalasi, proses *commissioning* dan proses pengukuran. Proses instalasi merupakan proses perakitan dan pemasangan perangkat ke menara *tower*; proses *commissioning* adalah proses dimana seorang *engineer* melakukan *input* parameter-parameter sesuai *link budget* sehingga perangkat bisa bekerja dengan baik dan terhubung dengan *site-site* lain yang berada dalam satu *hop*; proses terakhir yaitu proses pengukuran, dimana proses ini dilakukan menggunakan dua metode yaitu menggunakan model propagasi (perhitungan melalui karakteristik *base station* berdasarkan kategori wilayah) dan menggunakan parameter *Key Performance Indicator* (KPI).

Model propagasi yang digunakan dibedakan berdasarkan nilai frekuensi yang digunakan. Pada *base station existing* frekuensi kerja yang dgunakan adalah frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz. Menurut Singh (2012), “Untuk jaringan dengan frekuensi 1800 MHz, model propagasi COST-231 adalah model propagasi yang cocok untuk digunakan dengan memperhatikan aspek performansi sistem

termasuk *hand of optimization, power level adjustments*, dan peletakan antena”. Sedangkan menurut Zakaria et al., (2015), “Untuk frekuensi kerja berada diantara 1900 MHz sampai 11 GHz menggunakan model propagasi *Standford University Interim (SUI)*, yaitu model propagasi yang berasal dari perpanjangan model Hata”. Sementara itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Purnamirza et al., (2014), “ Model propagasi tidak dapat digunakan untuk penilaian yang akurat pada suatu daerah tertentu, karena model ini bersifat umum. Oleh sebab itu pada setiap rumusan formulanya memiliki klasifikasi untuk daerah urban, sub urban dan rural. Hal ini dikarenakan setiap daerah memiliki karakteristik yang berbeda, seperti bangunan, geografis, pepohonan dan *obstacle* lainnya”. Berdasarkan beberapa penelitian diatas, maka penggunaan model propagasi untuk frekuensi kerja Jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz menggunakan model propagasi COST-231 dan *standford University Interim (SUI)*.

Selanjutnya untuk parameter *Key Performance Indicator* (KPI) yang digunakan dibedakan menjadi 2 yaitu, KPI Statistik dan KPI *Drive Test*. Adapun parameter KPI Statistik yang akan dijadikan bahan analisis perbandingan antara sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi adalah parameter *Accessibility*, *Retainability*, *Integrity*, *Mobility* dan *Usage*, sedangkan parameter KPI *drive test* yang akan dijadikan bahan analisis antara data perhitungan dan pengukuran setelah dilakukannya optimasi adalah *loss propagasi* dan *receive power*.

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis mengangkat judul penelitian ini dengan “Analisis Pergantian *Base Station* Pada Jaringan LTE Frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz di Kecamatan Pauh, Padang Menggunakan Model Propagasi COST-231 dan *Standford University Interim (SUI)*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang dibahas pada penulisan tugas akhir adalah :

1. Bagaimana cara meningkatkan performansi jaringan pada *site 31140_Lubuk Bukit di Kecamatan Pauh, Padang?*
2. Bagaimana cara melakukan pengukuran menggunakan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) serta parameter *Key Performance Indicator* (KPI)?
3. Bagaimana perbandingan hasil pengukuran menggunakan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) serta parameter *Key Performance Indicator* (KPI)?
4. Bagaimana analisa perbandingan performansi jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi jaringan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat mengetahui cara meningkatkan performansi jaringan sesuai dengan permasalahan jaringan pada *site 31140_Lubuk Bukit di Kecamatan Pauh, Padang?*
2. Dapat melakukan pengukuran menggunakan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) serta parameter *Key Performance Indicator* (KPI)
3. Dapat mengetahui perbandingan hasil pengukuran menggunakan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) serta parameter *Key Performance Indicator* (KPI)?

4. Dapat menganalisa hasil perbandingan performansi jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi jaringan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini ialah melakukan optimasi performansi jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz dengan melakukan pergantian *base station* yang meliputi pergantian perangkat *base station* dan antena terpasang pada *site* 31140_Lubuk Bukit di Kecamatan Pauh, Kota Padang, dimana hasil optimasi dilihat dari proses pengukuran yang menggunakan dua metode, yaitu perhitungan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim (SUI)* serta parameter *Key Performance Indicator* dengan parameter KPI yang digunakan adalah parameter *Accessibility, Retainability, Integrity, Mobility* dan *Usage* (KPI Statistik) dan parameter *loss propagasi* dan *receive power* (KPI Drive Test).

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat dijadikan referensi untuk implementasi metode *swap* secara nyata di lapangan.
2. Sumber informasi mengenai perbandingan kualitas jaringan sebelum dan sesudah dilakukannya proses *swap*.
3. Bagi operator, perbandingan data yang didapatkan dapat dijadikan sebagai bahan acuan bagi mereka dalam memilih *base station* yang tepat sesuai dengan permasalahan kualitas jaringan di suatu daerah.
4. Dapat dijadikan sebagai bahan referensi bagi angkatan berikutnya terutama di bidang telekomunikasi seluler, khususnya di bidang jaringan akses seluler.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang teori-teori maupun penelitian-penelitian yang mendukung kajian yang akan diteliti serta menjadi acuan pembuatan tugas akhir.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

Bab ini menjelaskan secara rinci tahap perancangan dan proses pergantian (*swap*) *base station* di wilayah Kecamatan Pauh, Padang.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan analisa data yang didapatkan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan juga saran dari penulisan agar tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi untuk seterusnya.

BAB II

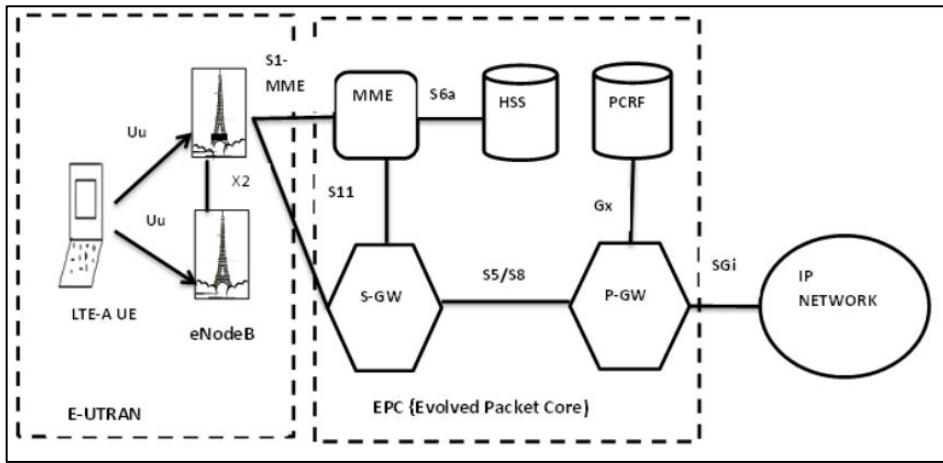
LANDASAN TEORI

2.1 Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution (LTE) adalah spesifikasi untuk standar 4G seluler. Ini didasarkan pada teknologi jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan koneksi data menggunakan antarmuka radio yang berbeda bersama dengan peningkatan jaringan inti (Kuboye, 2018).

Motivasi jaringan LTE mencakup peningkatan kapasitas dan kecepatan data nirkabel menggunakan teknik dan modulasi *Digital Signal Processing* (DSP) yang baru dikembangkan. LTE mendukung kecepatan data maksimum 300 Mbps untuk download dan 75 Mbps untuk upload (Kanagasundaram and Kadhar, 2013). LTE juga mendukung *bandwidth* operator yang dapat diskalakan dari 1,4 MHz hingga 20 MHz dan mendukung baik *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD), sehingga menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada 3G (Kuboye, 2018).

Arsitektur jaringan LTE dirancang dan disederhanakan menjadi sistem berbasis IP dengan pengurangan latensi transfer yang signifikan dibandingkan dengan arsitektur 3G. Ini menggunakan *Voice over LTE* (VoLTE) untuk menangani panggilan suara di jaringan. LTE adalah jalur teknis yang diikuti untuk mencapai kecepatan jaringan 4G. Berikut gambar 2.1 merupakan arsitektur jaringan LTE.



Gambar 2. 1 Arsitektur Jaringan LTE

Sumber : Dahlman et al., (2011)

2.1.1 *User Equipment (UE)*

User Equipment adalah perangkat dalam LTE yang terletak paling ujung dan berdekatan dengan *user*. Peruntukan UE pada LTE tidak berbeda dengan UE pada UMTS atau teknologi sebelumnya yaitu 2G dan 3G pada jaringan telekomunikasi. UE bisa berupa *PC (Personal Computer)*, *Smartphone*, dan semacamnya

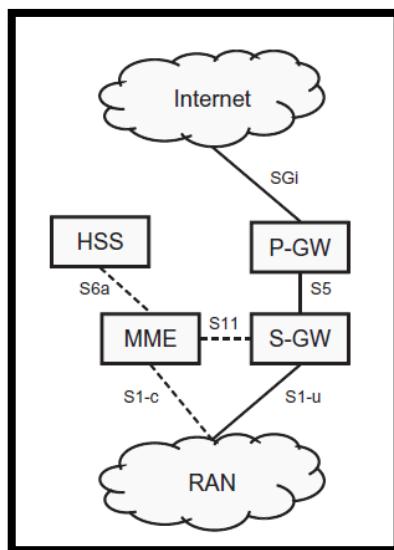
2.1.2 *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)*

Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) adalah sistem arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari *UE* ke jaringan *core*. Berbeda dari teknologi sebelumnya yang memisahkan *Node B* dan *RNC* menjadi elemen tersendiri, pada sistem *LTE E-UTRAN* hanya terdapat satu komponen yakni *Evolved Node B (eNode B)* yang telah menggabungkan fungsi keduanya. *eNode B* secara fisik adalah suatu *base station* yang terletak dipermukaan bumi (*BTS Greenfield*) atau ditempatkan diatas gedung-gedung (*BTS roof top*).

2.1.3 Evolved Packet Core (EPC)

EPC adalah sebuah *system* yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler, sebuah system dimana pada bagian *core network* menggunakan *all-IP*. EPC menyediakan fungsionalitas *core mobile* yang pada generasi sebelumnya (2G/3G) memiliki dua bagian yang terpisah yaitu *Circuit switch* (CS) untuk *voice* dan *Packet Switch* (PS) untuk data. EPC sangat penting untuk layanan pengiriman IP secara *end to end* pada LTE

Arsitektur *Evolved Packet Core* (EPC) dikelompokkan menjadi dua bidang, yaitu bidang pengguna dan bidang kontrol. *Mobility Management Entity* (MME) adalah inti dari control plane, sedangkan *Serve Gateway* (S-GW) adalah dari user plane. Antarmuka S1 menghubungkan eNodeB ke MME dan S-GW seperti yang digambarkan oleh Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Arsitektur EPC

Sumber : Dahlman et al., (2011)

Mobility Management Entity (MME) merupakan elemen *control* utama yang terdapat pada *EPC*. Biasanya pelayanan MME pada lokasi keamanan *operator*. Pengoperasiannya hanya pada *control plane* dan tidak meliputi data *user plane*.

Fungsi utama MME pada arsitektur jaringan LTE adalah sebagai *authentication and security, mobility management, managing subscription profile dan service connectivity*.

Serving Gateway (S-GW) merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*. Pada arsitektur jaringan LTE, level fungsi tertinggi S-GW adalah jembatan antara manajemen dan *switching user plane*. Peranan S-GW sangat sedikit pada fungsi pengontrolan. Hanya bertanggungjawab pada sumbernya sendiri dan mengalokasikannya berdasarkan permintaan MME, P-GW, atau PCRF yang memerlukan *set-up*, modifikasi atau penjelasan pada UE.

Packet Data Network Gateway (PDN-GW, P-GW) tidak kalah penting dengan SGW. PDN-GW adalah komponen penting pada *LTE* untuk melakukan terminasi dengan *Packet Data Network* (PDN) atau dengan kata lain menghubungkan EPC ke internet. Alokasi alamat IP untuk terminal tertentu ditangani oleh P-GW, serta penegakan kualitas layanan sesuai dengan kebijakan yang dikendalikan oleh PCRF. Adapun PDN GW mendukung *policy enforcement feature, packet filtering, charging support* pada LTE, trafik data dibawa oleh koneksi virtual yang disebut dengan *service data flows* (SDFs).

Selain itu, EPC juga berisi jenis node lain seperti *Policy and Charging Rules Function* (PCRF) yang bertanggung jawab untuk penanganan dan pengisian kualitas layanan (QoS), dan node *Home Subscriber Service* (HSS) yang berfungsi sebagai database yang berisi informasi pelanggan. . Ada juga beberapa node tambahan yang hadir sehubungan dengan dukungan jaringan *Multimedia Broadcast Multicast Services* (MBMS).

2.2 Propagasi Gelombang Radio

Propagasi adalah suatu metode proses perambatan gelombang radio dari pemancar (*Tx*) ke penerima (*Rx*) dan media transmisi sinyal yang digunakan adalah dengan media non-kawat (*unguided*) serta, memerlukan antena untuk meradiasikan sinyalnya ke udara bebas dan bentuk sinyal yang dipancarkan oleh pemancar adalah berupa gelombang sinyal elektromagnetik (Ulfah, 2016).

Dari segi teknis dan secara ekonomis, sebagai media komunikasi pentransmisian gelombang dalam jarak yang jauh, akan lebih efisien apabila menggunakan udara bebas sebagai media transmisinya. Hal ini memungkinkan karena gelombang radio atau RF (*radio frequency*) akan diradiasikan oleh antena sebagai *matching device* antara sistem pemancar dan udara bebas dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Terdapat dua macam jenis-jenis propagasi yang utama, yaitu *Ground wave* dan *Ionespheric or Sky wave* (Telemetry Group, 2001).

2.2.1 Propagasi Gelombang Tanah (*Ground Wave*)

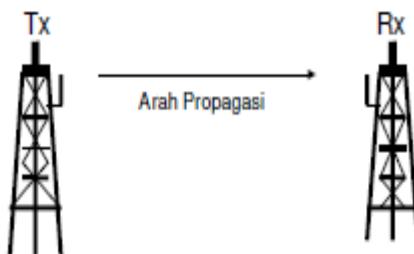
Propagasi Gelombang tanah adalah propagasi di mana sinyal/gelombang radio yang terpancar dari suatu antena merambat di atas permukaan bumi sampai dengan batas maksimum lapisan atmosfer terendah troposfer (sekitar 10 - 11 km) diatas permukaan bumi. Propagasi gelombang tanah beroperasi pada *Very High Frequency* (VHF) dan *Ultra High Frequency* (UHF) serta sebagian komunikasi *High Frequency* (HF).

Propagasi *groundwave* digunakan untuk komunikasi jarak pendek sampai sedang. Rugi-rugi propagasi (*propagation loss*) sangat besar terutama pada band VHF dan UHF. Demikian pula faktor serapan bumi (*ground absorption*) untuk

VHF dan UHF sangat besar, terutama untuk jenis permukaan tanah tertentu, sehingga pada band frekuensi tersebut tidak efisien untuk komunikasi jarak jauh secara point to point. Propagasi Gelombang tanah terdiri dari 4 komponen gelombang (Hayt William H, 2006):

1) Gelombang langsung (*Direct Wave*)

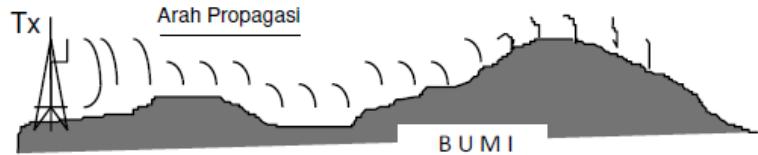
Merupakan komponen *groundwave* dimana sinyal dari antena pemancar merambat lurus dan langsung diterima oleh antena penerima. Komponen ini merupakan komponen yang paling dominan pada sistem komunikasi VHF dan UHF, apalagi bila digunakan antena terarah (*directional*). Sehingga komponen ini jangan sampai mengalami hambatan/ halangan medan selama proses rambatannya, itulah sebabnya antena dipasang dengan ketinggian tertentu di atas menara atau pada ketinggian medan tertentu, untuk mendapatkan hubungan *Line of Sight*. Berikut gambar 2.3 memperlihatkan ilustrasi gelombang langsung.



Gambar 2. 3 Ilustrasi *Direct Wave*

2) Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Merupakan komponen *groundwave* dimana sinyal merambat diatas permukaan bumi. Sinyal merambat dan mencapai jangkauan tertentu, tergantung konduktivitas permukaan tanah yang dilewati. Berikut gambar 2.4 memperlihatkan ilustrasi gelombang langsung.



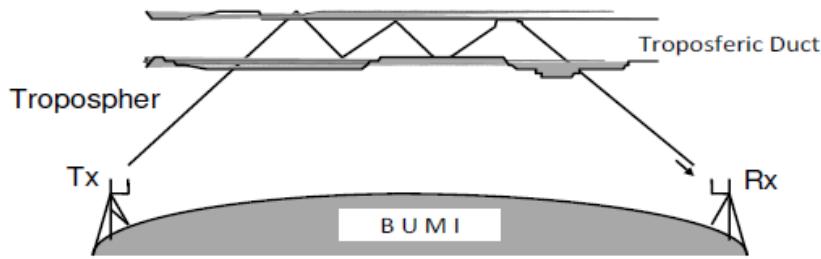
Gambar 2. 4 Ilustrasi *Surface Wave*

3) *Reflected Wave*

Merupakan komponen *groundwave* dimana gelombang memantul terlebih dahulu kesuatu obyek sebelum diterima antena penerima secara horizontal maupun vertikal terhadap bidang datar. Gelombang patulan dapat menyebabkan masalah komunikasi (interferensi). Karena lintasan gelombang pantul akan lebih jauh dari gelombang langsung (*direct wave*), maka gelombang pantul akan sampai ke antena penerima setelah gelombang langsung. Bila kedua gelombang “sefase”, maka resultannya saling memperkuat, tetapi bila berbeda phasa bahkan sampai 180° , akan menimbulkan “*Cancelling effect*” yaitu tidak adanya sinyal pada antena penerima, meskipun pemancar jelas terlihat (*Line of Sight*). Untuk mengatasinya dengan cara menggeser kedudukan antena atau mengatur ketinggiannya.

4) Gelombang Troposferik (*Tropospheric Wave*)

Merupakan komponen *groundwave* sinyal dari suatu antena pemancar terperangkap pada medium di troposfer. Perangkap ini menyebabkan sinyal dapat merambat jauh beberapa kali jangkauan normalnya. Keadaan ini bersifat eksidensial, yaitu kita tidak bisa duga/prediksi bilamana terjadinya, apalagi dimanfaatkan. Berikut gambar 2.5 memperlihatkan ilustrasi gelombang troposferik.

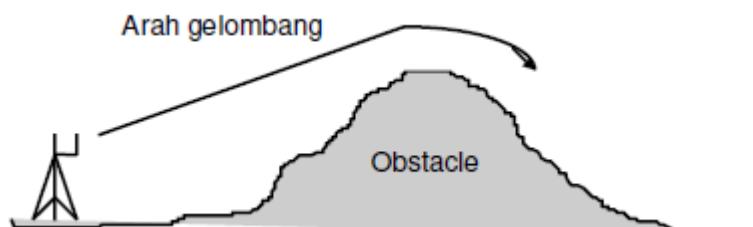


Gambar 2. 5 Ilustrasi *Tropospheric Wave*

Selain fenomena perambatan *ground wave* di atas, masih ada fenomena perambatan *ground wave* yang lain, seperti refraksi dan defraksi (Telemetry Group RF Systems Committee, 2001).

- Defraksi, merupakan proses pembelokan dan penyebaran sinyal, apabila seberkas sinyal mengenai ketinggian sehingga memungkinkan komunikasi pada daerah lembah, dibalik ketinggian tersebut. Gejala ini memungkinkan penerima menangkap sinyal dari pemancar meski tidak *Line of Sight* (terhalang oleh ketinggian), dan makin rendah frekuensi makin mudah didefraksikan dibanding frekuensi yang lebih tinggi.

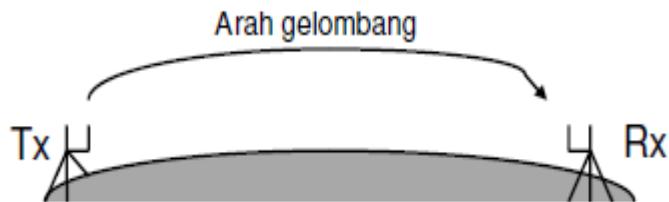
Gambar 2.6 memperlihatkan ilustrasi proses defraksi gelombang.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Proses Defraksi Gelombang

- Refraksi, merupakan proses pembelokan sinyal, akibat sinyal tersebut melewati beberapa medium dengan kerapatan berbeda pada lapisan bawah atmosfer. Gejala ini memungkinkan jarak *Line of Sight* komunikasi lebih

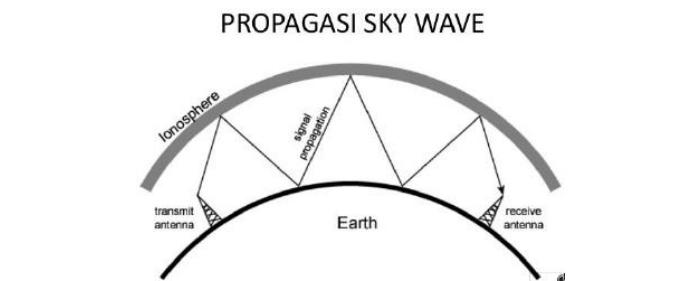
besar dari jarak visual *Line of Sight*-nya. Gambar 2.7 memperlihatkan ilustrasi proses refraksi gelombang.



Gambar 2. 7 Ilustrasi Proses Refraksi Gelombang

2.2.2 Propagasi Gelombang Ionomosfer (*Sky Wave*)

Gelombang ionosfer merupakan gelombang radio yang berpropagasi di lapisan ionosfer. *Ionosphere* merupakan bagian dari atmosfer yang terionisasi oleh radiasi matahari, lapisan ionosfer pada sekitar ketinggian 80 s.d 800 km pada permukaan laut (Ihsan & Irawan, 2016) . Pada frekuensi tinggi atau daerah HF, yang mempunyai range frekuensi 3-30 MHz, gelombang dapat dipropagasikan menempuh jarak yang jauh akibat dari pembiasan dan pemantulan lintasan pada lapisan ionosfer. Gelombang ini mengalami penceran dari antena pemancar (*Tx*) dengan suatu arah yang menghasilkan sudut tertentu dengan acuan permukaan bumi. Dalam proses tersebut gelombang biasanya mengalami beberapa kali pemantulan lapisan ionosfer dan permukaan bumi, sehingga jangkauannya bisa mencapai antar pulau bahkan jarak yang paling jauh yaitu antara benua. Berikut gambar 2.8 merupakan ilustrasi propagasi gelombang ionosfer.



Gambar 2. 8 Ilustrasi Propagasi Gelombang Ionomosfer

2.2.3 *Line of Sight* (LOS)

Transmisi *Line Of Sight* gelombang mikro adalah salah satu dari beberapa media transmisi dalam pergantian modern. Transmisi ini digunakan pada saat perencanaan gelombang mikro dan implementasi proyek untuk menghadapi masalah pengaruh lingkungan dan hal ini memerlukan penentuan kondisi operasi dan desain untuk operasi optimal. Karena tautan gelombang mikro adalah sirkuit antara terminal yang dipisahkan melalui jarak yang sangat jauh dengan demikian mereka sensitif terhadap medan, atmosfer, dan kondisi iklim yang merugikan penerimaan bebas kesalahan (Abdelrahim et al., 2019)

Pada sistem gelombang radio hubungan antara pemancar dengan penerima harus memiliki letak yang dapat dijangkau oleh keduanya, dapat disimpulkan antara pemancar dan penerima terletak pada garis lurus yang tidak memiliki penghalang. Pada kondisi tersebut disebut dengan *Line Of Sight*. Komunikasi *Line Of Sight* dapat diartikan dimana kondisi yang dibutuhkan dalam membuat suatu jalur transmisi dengan keadaan tanpa penghalang, dengan kondisi tersebut maka akan tercipta sistem komunikasi yang baik dengan kualitas yang baik pula.

2.2.4 *Path Length*

Menurut Freeman. Rogel L (2007), “Jarak antara lokasi *site* dengan *site* yang lainnya dapat dihitung dengan menentukan posisi nominal antar *site* pada garis bumi dan menghitung jarak keduanya. Letak nominal titik biasanya dinyatakan dalam garis lintang dan garis bujur. Setiap garis lintang dan bujur dinyatakan dalam derajat, menit dan titik. Tentunya nilai derajat tersebut dikonversi ke dalam satuan kilometer”. Untuk menentukan jarak propagasi antar site dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

Sehingga: Jarak A dan B = $\sqrt{\text{Jarak Lintang}^2 + \text{Jarak Bujur}^2}$ (2.3)

2.2.5 Klasifikasi Daerah

Menurut A.R. Misra (2004), propagasi gelombang radio akan mengalami peredaman yang berbeda pada lingkungan yang berbeda. Karena itu dalam prediksi redaman maupun perencanaan, suatu daerah diklasifikasikan dalam beberapa *cluster* yaitu

- a) *Dense urban*, merupakan daerah yang mempunyai kepadatan penduduk sangat tinggi, banyak gedung-gedung perkantoran, dan daerah industri yang berkembang. Daerah ini memiliki ciri tinggi gedung-gedungnya lebih dari 50 m, dan kepadatan penduduknya paling padat dibandingkan tiga *cluster* yang lain.
 - b) *Urban* adalah daerah dengan kepadatan penduduk lebih rendah daripada *dense urban*, yxmAsHa bangunan cukup banyak, ketinggian gedung-gedungnya berkisar antara 25-50 m dan merupakan daerah industri berkembang.
 - c) *Sub urban* memiliki tingkat halangan lebih rendah daripada *urban*, sehingga area cakupan umumnya lebih baik. Daerah ini memiliki bangunan yang relatif rendah dan jalan yang cenderung lebar serta daerah bisnisnya sedikit.
 - d) *Rural* merupakan daerah terbuka dan pedesaan yang jarang terdapat halangan di dalamnya. Populasi penduduknya relatif kecil, daerahnya meliputi persawahan dan padang rumput.

2.2.6 Pemodelan Propagasi

Secara umum, pemodelan propagasi bertujuan untuk memprediksi kekuatan sinyal yang diterima dalam bentuk nilai rata-rata pada jarak tertentu dari pemancar, serta perubahan dalam kekuatan sinyal tersebut. Terdapat sejumlah model propagasi yang digunakan untuk memprediksi redaman suatu lintasan pada wilayah dengan permukaan yang tidak teratur. Pada dasarnya model-model propagasi berlandaskan interpretasi dan pengukuran data pada wilayah milik suatu operator.

Berikut adalah model-model propagasi yang digunakan secara umum berdasarkan model propagasi empiris, yakni model Okumura - Hata, model COST – 231, model ECC-33, model Ericsson dan model *Standard University Interim (SUI)*. Namun terdapat dua model propagasi yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini, yakni COST-231 dan *Standard University Interim (SUI)*.

1. Okumura-Hata

Salah satu model propagasi yang paling umum untuk memprediksi *loss* sinyal dalam lingkungan sel makro yaitu model yang dikembangkan oleh Y. Okumura dan M. Hata yang didasarkan pada pengukuran di daerah perkotaan dan pinggiran kota. Rentang validitas model adalah frekuensi f_c antara 150 MHz sampai 1500 MHz, tinggi ht pemancar antara 3 m sampai 200 m, tinggi hre penerima antara 1 m sampai 10 m dan jarak antara pengirim dan penerima antara 1 m dan 10 km. Berikut merupakan rumus propagasi Okumura – Hata (Garg, 2007)

a. Untuk daerah **Urban**:

b. Untuk daerah Sub Urban:

c. Untuk daerah **Rural**:

dimana:

Lu : pathloss untuk daerah urban

Lsu : pathloss untuk daerah sub urban

Lr : pathloss untuk daerah rural

f_c : frekuensi carrier dalam MHz

d : jarak dari *base station* (km)

h_{te} : tinggi base station (m)

h_{re} : tinggi mobile station (m)

$a(h_{re})$: faktor koreksi untuk ketinggian *antenna mobile station* (dB)

Untuk daerah perkotaan yang kecil dan sedang:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log(f_c) - 0,7) h_{re} - (1,56 \log(f_c) - 0,8) \dots \dots (2.7)$$

untuk $C = 0$

Untuk daerah perkotaan yang besar (metropolitan):

$$a(h_{re}) = 8,29(\log(1,54 h_{re})^2 - 1,1, \text{ untuk } f \leq 200 \text{ MHz..} \quad (2.8)$$

$$a(h_{re}) = 3,2 (\log (11,75 h_{re})^2 - 4,97, \text{ untuk } f \leq 400 \text{ MHz} \quad (2.9)$$

untuk $C = 0$

Untuk parameter yang digunakan pada model Okumura/Hatta dapat dilihat seperti pada tabel 2.1 di bawah ini (*Wireless Communications and Networking*, 2007).

Tabel 2. 1 Parameter Okumura/Hatta

Parameter	Notasi	Spesifikasi
Frekuensi Pembawa	f_c	150-1500 MHz
Tinggi Antena BTS	h_{te}	30-200 m
Tinggi Antena MS	h_{re}	1-10 m
Jarak BTS dengan MS	d	1-20 km

2. COST-231

COST 231 merupakan model propagasi hasil pengembangan dari model propagasi Okumura – Hata. Model propagasi ini akan valid jika digunakan untuk range frekuensi antara 800 – 2000 MHz. Rumus pathloss pada model propagasi COST-231 ini adalah sebagai berikut :

dimana :

f_c : frekuensi dalam MHz

h_{te} : tinggi base station (m)

h_{re} : tinggi mobile station (m)

cm : 0 dB untuk kota menengah dan kota sub urban, 3 dB untuk pusat kota metropolitan

$a (h_{re})$: faktor koreksi untuk ketinggian *antenna mobile station* (dB)

Untuk daerah **urban**:

Untuk daerah sub urban dan rural:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log(f_c) - 0,7) h_{re} - (1,56 \log(f_c) - 0,8) \dots (2.12)$$

Untuk parameter yang digunakan pada model COST - 231 dapat dilihat seperti pada tabel 2.2 di bawah ini (*Wireless Communications and Networking*, 2007)

Tabel 2. 2 Parameter COST-231

Parameter	Notasi	Spesifikasi
Frekuensi Pembawa	f_c	800-2000 MHz
Tinggi Antena BTS	h_{te}	4-50 m
Tinggi Antena MS	h_{re}	1-3 m
Jarak BTS dengan MS	d	0,02-5 km

3. Model ECC-33

Model ECC-33 merupakan modifikasi dari model Okumura/Hata yang lebih mewakili ke sistem nirkabel. Rumus *pathloss* pada model propagasi ECC-33 ini adalah sebagai berikut :

dimana, A_{ft} , A_{bm} , G_b dan G_r adalah redaman ruang bebas, redaman jalur median dasar, tinggi stasiun pangkalan faktor penguatan dan faktor penguatan tinggi penerima. Mereka secara individual didefinisikan sebagai:

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log d + 7.89 \log f + 9.56 [\log f]^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$G_b = \log\left(\frac{h_b}{200}\right)(13.958 + 5.8 \log(d))^2 \dots \quad (2.16)$$

a. Untuk ***medium city*** :

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log f][\log(h_r) - 0.585] \dots \quad (2.17)$$

b. Untuk ***large city*** :

$$G_r = 0.759 h_r - 1.862 \dots \quad (2.18)$$

dimana:

f : frekuensi carrier dalam GHz

d : jarak dari *base station* ke antena bergerak (km)

h_b : tinggi antena stasiun pangkalan (m)

h_r : tinggi antena bergerak (m)

4. Model *Ericsson*

Untuk memprediksi path loss, para insinyur perencana jaringan menggunakan software yang disediakan oleh perusahaan Ericsson tersebut disebut model Ericsson. Model ini juga berdiri di atas model Okumura-Hata yang dimodifikasi untuk memberi ruang bagi mengubah parameter sesuai dengan lingkungan propagasi. Adapun rumus pathloss nya adalah sebagai berikut.

$$L = a_0 + a_1 \log(d) + a_2 \log((h_b) + \log((d) - 3.2(\log(11.75))h_r)^2) + g(f) \dots \quad (2.19)$$

$$g(f) = 44.49 \log(f) - 4.78(\log(f))^2 \dots \quad (2.20)$$

dimana, f adalah frekuensi (MHz), h_b adalah tinggi antena transmisi (m), h_r adalah tinggi antena penerima (m). Nilai default dari parameter a_0, a_1, a_2 dan a_3 untuk medan yang berbeda diberikan pada Tabel 2.3 berikut ini (*Wireless Communications and Networking*, 2007).

Tabel 2. 3 Parameter Model *Ericsson*

Environtment	a_0	a_1	a_2	a_3
Urban	36,2	30,2	12	0,1
Sub Urban	43,2	68,93	12	0,1
Rural	45,95	100,6	12	0,1

5. Model Standford University Interim (SUI)

Kelompok kerja IEEE 802.16 *Broadband Wireless Access* mengusulkan standar untuk pita frekuensi di bawah 11 GHz berisi model saluran yang dikembangkan oleh *Stanford University* yaitu model SUI, yang merupakan model prediksi yang berasal dari perpanjangan model Hata dengan frekuensi koreksi lebih besar dari 1900 MHz.

Tinggi antena stasiun pangkalan model SUI dapat digunakan dari 10 m hingga 80 m. Tinggi antena penerima adalah dari 1 m sampai 10 m. Jari-jari sel adalah dari 0,1 km hingga 8 km. Model SUI menggambarkan tiga jenis medan, yaitu Medan A (urban), Medan B (sub urban), dan Medan C (rural). Adapun rumus perhitungan pathloss dari model SUI adalah sebagai berikut.

$$L = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S, \text{ for } d > d_0 \dots \quad (2.21)$$

dimana, d adalah jarak *base station* dan *mobile antenna* (m), $d_0 = 100\text{m}$, λ adalah panjang gelombang (meter), X_f adalah koreksi untuk frekuensi di atas 2GHz (MHz), X_h adalah koreksi untuk tinggi antena penerima, S adalah koreksi untuk shadowing dalam dB dan γ adalah eksponen path loss. Variabel acak diambil melalui prosedur statistik sebagai eksponen kerugian jalur γ dan pemudaran lemah deviasi standar S didefinisikan. Batang pohon berdistribusi normal faktor S , untuk bayangan memudar karena pepohonan dan gangguan lain

pada jalur propagasi dan nilainya antara 8,2 dB dan 10,6 db. Sedangkan untuk parameter A didefinisikan sebagai berikut.

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

dan untuk rumus eksponen pathloss sebagai berikut.

$$\gamma = a - bh_b + \left(\frac{c}{h_b}\right) \dots \quad (2.23)$$

$$X_f = 6.0 \log\left(\frac{f}{1900}\right) \dots \quad (2.24)$$

$$X_h = \begin{cases} -10.8 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) & \text{for terrain type A and B} \\ -20.0 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) & \text{for terrain type C} \end{cases} \quad \dots \quad (2.25)$$

Berikut pada tabel 2.4 merupakan nilai parameter tipe medan yang berbeda pada model SUI. (*Wireless Communications and Networking*, 2007)

Tabel 2. 4 Parameter *Standford University Interim*

Modal Parameter	Terrain A	Terrain B	Terrain C
A	4,6	4	3,6
b(m-1)	0,0075	0,0065	0,005
c(m)	12,6	17,1	20
S (dB)	10,6	9,4	8,2

2.3 Rekomendasi Optimasi Jaringan

Optimasi pada jaringan telekomunikasi dapat didasarkan terhadap masalah yang terjadi di suatu *site* yang berdampak buruk pada kualitas jaringan, seperti *cross coverage, inverse connection, weak coverage, coverage holes, signal quality problem, interference, handover failure, pilot pollution, lack of a dominant cell, imbalance between uplink and downlink*, dan lain sebagainya.

Secara umum rekomendasi untuk optimasi jaringan 4G adalah sebagai berikut (Kominfo DTS, 2021):

a. Adjusting the antenna system

Pengaturan pada antena yang dilakukan untuk optimasi jaringan dapat dilakukan dengan perubahan sistem dari antena tersebut. Beberapa aspek yang dapat dirubah adalah:

1) Tilting antenna

Pengaturan kemiringan antena dinamakan dengan *tilting antenna* yang berfungsi untuk menetapkan area yang akan merima cakupan sinyal (Makkatang dan Nugroho, 2019). *Tilting* antena berdasarkan sudut kemiringan sudut antena dengan satuan derajat. Pengaruh dari *tilting* antena ini adalah semakin besar sudut dari nilai *tilting* maka antena akan semakin merunduk sehingga mempengaruhi *coverage area*. *Tilting* antena dibedakan menjadi dua yaitu *mechanical tilting* yang merupakan perubahan tingkat kemiringan antena secara fisik yang diukur menggunakan *tilt meter* dan *electrical tilt* yaitu perubahan bentuk polarisasi antena dengan cara mengatur parameter kelistrikan pada antena. Perubahan *tilting* antena dapat dijadikan rekomendasi terhadap masalah *cross coverage*, *weak coverage*, mengurangi interferensi dan *handover failure*.

2) Azimuth/Direction

Azimuth adalah angka yang digunakan untuk mengatur arah antena secara horizontal dengan cara mengubah posisi *clamp* (penjepit antena) yang terjepit ke kaki *tower*. Satuan dari *azimuth* adalah derajat. Pengaturan arah *azimuth* dilakukan sesuai *planning*. Perubahan *azimuth* dapat dijadikan rekomendasi terhadap masalah *weak coverage* dengan mengatur *azimuth* yang sesuai, sehingga perubahan *azimuth* dapat melingkupi daerah yang mengalami

kualitas sinyal yang buruk tersebut. Selain itu, perubahan *azimuth* dapat mengurangi interferensi terhadap *site* lain.

3) Ketinggian antena

Ketinggian antena dikur dari permukaan tanah hingga ujung antena yang terpasang pada *tower*. Perubahan terhadap ketinggian antena ini dapat dijadikan rekomendasi terhadap permasalahan *weak coverage* yang disebabkan oleh adanya *terrain* atau *obstacle* yang lebih tinggi daripada antena.

4) Swap Optical Fiber or Adjust Feeders

Kabel fiber optik dan kabel *feeder* yang digunakan untuk saluran transmisi dari antena ke *baseband board* atau sistem modul apabila terjadi kesalahan pengaturan atau letak dapat menyebabkan koneksi terbalik sehingga informasi yang disampaikan tidak sesuai dengan perencanaan. Rekomendasi pergantian fiber optik ini dapat dijadikan solusi terhadap masalah *inverse connection* tersebut.

b. Adjusting power

Beberapa jenis *power* yang dapat diatur untuk melakukan optimasi jaringan adalah; pengurangan RS *power* untuk mengurangi cakupan wilayah dari antena yang terdistorsi karena lebarnya pengaturan *tilt* antena, peningkatan *pilot power* yaitu parameter terpenting dalam pengontrolan kekuatan dari sinyal CPICH (*Common Pilot Chanel*) dimana peningkatan *pilot power* ini dapat dijadikan rekomendasi untuk *weak coverage*, dan yang terakhir adalah pengurangan *power* transmisi pada *cell* sebesar 3 dB untuk mengurangi interferensi.

Rekomendasi lain optimasi jaringan adalah menggunakan teknik *Joint Base Station* dan *Swap Base Station*. Teknik *Joint Base station* dirancang menjadi sebuah teknik penggabungan beberapa jaringan nirkabel *existing* 2G,3G dan 4G LTE. Dampak positif dari penggunaan teknik ini adalah pengurangan biaya operasional dan belanja modal dari operator. JBS memanfaat *resource spectrum* secara efisien dan sesuai dengan presentase pertumbuhan pelanggan nirkabel. Solusi dari teknik ini dapat meningkatkan kapasitas jaringan nirkabel *existing* (Doan Perdana, 2012). Sedangkan teknik *Swap Base Station* ialah suatu teknik penukaran antena dan perangkat *base station* yang mana pada proses ini dilakukan pengukuran karakteristik antara perangkat sebelum dan sesudah penukaran. Sehingga pada teknik ini dapat menanggapi bahwa karakteristik kinerja perangkat selama periode waktu pertukaran berulang lebih kuat daripada karakteristik kinerja perangkat sebelum periode waktu pertukaran berulang (Sony Mobile Communication,2015). Rekomendasi pergantian ini cocok digunakan untuk penambahan kapasitas apabila kapasitas sebelumnya tidak memenuhi target *user* sesuai daerah penempatan *base station*.

2.4 Key Performance Indicator Optimization

Key Performance Indicator (KPI) Optimization merupakan suatu pedoman indikator yang digunakan untuk pemecahan suatu masalah dalam sebuah jaringan akses seluler, dimana indikator ini bertujuan untuk mendapatkan sebuah solusi atau ide dari area potensial yang memiliki kinerja KPI yang buruk (LTE Optimazation Handbook). Berdasarkan pengukuran jaringan seluler, parameter KPI dibagi menjadi 2, yaitu KPI Statistik merupakan suatu indikator parameter yang mengacu kepada data mentah yang di *collect* oleh OMC atau OSS Engineer untuk selanjutnya

diserahkan ke RF Optim guna menjalankan proyek optimalisasi jaringan dan KPI *drive test* yaitu suatu indikator parameter yang mengacu kepada analisa *log file drive test*, baik *voice*, *data*, *signal strength*, *signal quality* dan *interference site*.

Secara umum parameter-parameter KPI *optimization* yang termasuk ke dalam KPI statistik meliputi parameter sebagai berikut (LTE Optimization Handbook):

a. *Accessibility*

Accessibility merupakan kemampuan *user* untuk memperoleh atau mengakses layanan sesuai dengan layanan yang disediakan oleh pihak *provider*. Berkaitan dengan *user* maka parameter ini erat kaitannya dengan kapasitas jaringan yang disediakan oleh eNB terhadap *user*. Parameter yang mengukur tingkat akses *user* adalah *Radio Research Control Connection Setup Success Rate* (RRC CSSR) dan *E-UTRAN Radio Access Bearer* (*E-RAB* SSR).

1. RRC Connection Setup Success Rate

Dihitung berdasarkan *counter* pada eNodeB ketika eNodeB menerima RRC *connection request* dari UE. Jumlah RRC *connection attempt* dikumpulkan oleh eNodeB pada pengukuran di titik A, dan jumlah RRC *connection* yang sukses dihitung pada titik C. Adapun rumus perhitungannya:

$$RRC\ CSSR = \frac{RRC\ Connection\ Success}{RRC\ Connection\ Attempt} \times 100\% \quad \dots \quad (2.26)$$

2. ERAB Setup Success Ratio

ERAB Setup Success Ratio merupakan rasio tingkat keberhasilan penyiapan ERAB untuk semua layanan, termasuk layanan VoIP. Adapun

rumus perhitungannya adalah:

b. *Retainability*

Retainability adalah kemampuan *user* dan sistem jaringan untuk mempertahankan layanan setelah layanan tersebut berhasil diperoleh sampai batas waktu layanan tersebut dihentikan oleh *user*. Adapun parameter yang dapat mengukur tingkat suatu layanan dapat dipertahankan adalah:

1. ERAB Drop Ratio

ERAB DR merupakan rasio statistik penurunan tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan, tetapi terputus secara tidak normal karena kegagalan eNB. Adapun rumus perhitungannya adalah:

c. *Integrity*

Integrity merupakan kualitas penentu dari layanan yang diberikan. Parameter yang dapat mengukur indikator *integrity* dalam suatu jaringan adalah *latency* dan *Channel Quality Indicator* (CQI). *Latency* merupakan waktu yang dibutuhkan dalam pengiriman data yang diukur dalam satuan milidetik, sedangkan *Channel Quality Indicator* (CQI) merupakan kualitas *channel downlink* dalam kondisi *dedicated mode*.

d. Mobility

Mobility merupakan parameter yang mengukur bagaimana *user* dapat bergerak dengan mudah dari suatu tempat ke tempat lain tanpa terjadi pemutusan hubungan yang dikenal dengan *handover*. Beberapa parameter yang mengukur nilai

mobility dalam suatu jaringan adalah *Intra eNB Handover Out Success Rate* dan *Inter eNB Handover Out success Rate*.

1. Intra eNB Handover Out Success Rate

Intra eNB Handover Success Rate merupakan keberhasilan *handover* antara sel yang berbeda dalam eNB yang sama, dimana dalam prosedur *handover* dibagi dalam 2 fase yaitu fase persiapan dan fase eksekusi.

Adapun rumus perhitungannya adalah:

2. Inter eNB Handover Out Success Rate

Inter eNB Handover Success Rate merupakan keberhasilan *handover* antara sel yang sama dalam eNB yang sama. Adapun rumus perhitungannya adalah:

e. *Usage*

Usage yaitu bagaimana jaringan LTE dimuat atau dikumpulkan. Parameter yang melihat indikator ini adalah:

1. *Throughput*

Throughput adalah jumlah data yang ditransfer dalam jumlah waktu tertentu. Dalam hal video, dapat dilacak dengan berapa banyak paket data yang dapat ditransmisikan selama periode tertentu. Sehingga dapat dijelaskan bahwa *throughput* menandai tingkat rata-rata transmisi data yang berhasil dalam pengaturan *streaming*. Adapun parameter *throughput* ini adalah:

Tabel 2. 5 Nilai Range *Throughput Download* (Nokia, 2020)

Indikator Warna	<i>Throughput Download</i>	<i>Strength (dBm)</i>
	Sangat baik	$30000 \leq x \leq 80000$
	Baik	$20000 \leq x \leq 30000$
	Cukup baik	$10000 \leq x \leq 20000$
	Cukup buruk	$5000 \leq x \leq 10000$
	Buruk	$1000 \leq x \leq 5000$
	Sangat buruk	$0 \leq x \leq 1000$

2. *Traffic*

Traffic merupakan jumlah atau banyaknya data yang digunakan oleh *user* selama periode waktu tertentu, baik itu *hourly* maupun *daily*. Adapun fungsi dari monitoring data trafik ini adalah untuk melihat lonjakan setiap pergerakan pemakaian data, apabila terjadi lonjakan yang signifikan maka data ini lah yang akan dijadikan sebagai acuan untuk dilakukannya optimalisasi jaringan.

Adapun nilai ambang batas (*threshold*) parameter KPI statistik secara kesekuruhan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 6 LTE KPI *Threshold* (Nokia, 2020)

Parameter KPI LTE	Nokia KPI	Citius and KPI Threshold	
		L18	L21
RRC CSSR	LTE_5218f	>99%	>99%
ERAB SSR	LTE_5017a	>99,5%	>99%
ERAB Drop Ratio	LTE_5025f	<0,3%	<0,2%
Throughput-Max Thr PDCP DL	LTE_291b	>10 Mbps	>10 Mbps
Intra eNB HO SR	LTE_5035a	>98,5%	>98,5%
Inter eNB HO SR	LTE_5048b	>98%	>98%
<i>Traffic</i>		< 80 GB	< 80 GB

Selanjutnya parameter untuk mengukur hasil optimasi dapat juga dilihat melalui parameter KPI *drive test*. Berikut merupakan parameter-parameter KPI *drive test* adalah

1. Reference Signal Received Power (RSRP)

“Reference Signal Received Power (RSRP) adalah metrik yang berhubungan dengan kekuatan sinyal spesifik sel digunakan sebagai masukan untuk reaksi sel dan keputusan serah terima. Untuk sel tertentu, RSRP ditentukan sebagai daya rata-rata (dalam Watt) dari *Resource Elements* (REs) yang membawa Referensi Sinyal (RS) dalam *bandwidth* yang dipertimbangkan” (Efriyendro & Rahayu, 2017). Perhitungan nilai RSSP dapat dirumuskan sebagai berikut:

dimana :

RSSI : Indikator kekuatan sinyal (dBm)

N : Jumlah RB (*Resource Block*) RSSI dan tergantung pada *bandwidth* yang diukur

Berikut merupakan tabel range RSRP pada tabel 2.6

Tabel 2. 7 Range Nilai RSRP (Nokia, 2020)

Indikator Warna	RSRP	Strength (dBm)
	Sangat baik	$-80 \leq x \leq -40$
	Baik	$-90 \leq x \leq -80$
	Cukup baik	$-100 \leq x \leq -90$
	Cukup buruk	$-110 \leq x \leq -100$
	Buruk	$-150 \leq x \leq -110$

2. Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

Menurut Efriyendro & Rahayu (2017), "SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*) merupakan rasio kebisingan sinyal yang dinyatakan sebagai

rasio daya linier, dengan nilai tipikal α adalah antara 0.1 hingga 1". Semakin baik sinyal besar nilai SINR suatu sinyal maka semakin baik kualitas sinyal tersebut begitu sebaliknya. Adapun rumus perhitungannya adalah:

dimana S merupakan rata-rata kuat sinyal, I merupakan rata-rata *power interferensi*, dan N merupakan *power noise*. Berikut merupakan tabel range SINR pada tabel 2.7.

Tabel 2. 8 Range Nilai SINR (Nokia, 2020)

Indikator Warna	SINR	Strength (dB)
	Sangat baik	$12 \leq x \leq 30$
	Baik	$8 \leq x \leq 12$
	Cukup baik	$6 \leq x \leq 8$
	Cukup buruk	$0 \leq x \leq 6$
	Buruk	$-20 < x < 0$

2.5 Drive Test

Drivetest merupakan suatu metode untuk mengukur kekuatan sinyal yang dipancarkan oleh *BTS-BTS* terdekat beserta data yang terdapat pada jaringan *BTS* tersebut dengan menggunakan *software* dan *hardware* tertentu secara *real time*. *Drivetest* berfungsi untuk mengetahui performansi jaringan atau kondisi suatu jaringan serta mengetahui *throughput values* (kecepatan *upload* dan *download*) jaringan suatu wilayah tertentu. Tujuan *Drivetest* adalah mengumpulkan informasi yang untuk mencapai tujuan-tujuan lainnya sebagai berikut (Yanuari et al., 2015):

- a. Untuk mengecek kesesuaian *coverage* sebenarnya dilapangan dengan *coverage prediction* saat *planning* (perencanaan).

- b. Untuk mengecek kesesuaian parameter jaringan dilapangan dengan parameter *planning* (perencanaan).
- c. Untuk mengecek performansi jaringan setelah dilakukan perubahan perangkat.
- d. Untuk melakukan *optimization* apabila terjadi kesalahan pada saat dilapangan.

Drivetest dilakukan secara *plotting/pinpoint automatic* dengan mobil mengikuti jalur yang sudah direncakan menggunakan *GPS (Global Positioning System)* secara *real time*. Pada *Drivetest* biasanya diamati kuat daya pancar dan daya terima, tingkat kegagalan akses (*Originating* dan *Terminating*), tingkat suatu panggilan yang gagal (*Drop call*) dan *Throughput values*. *Drivetest* biasanya dilakukan pada wilayah-wilayah tertentu (Yanuari,2015).

Jenis-jenis pengukuran *drivetest* dibagi menjadi 2, yaitu pengukuran berdasarkan *mode* pengukuran dan cara pengukuran pengambilan datanya.

1. Mode pengukuran

a) *Drive Test Idle Mode*

Merupakan pengukuran kualitas sinyal yang diterima *Mobile Station* (MS) dalam keadaan *idle* atau tidak melakukan panggilan atau sms. Mode ini dilakukan untuk mengetahui *signal strength* suatu area yang terindikasi *low signal* atau *no service*.

b) *Drive Test Dedicated Mode*

Merupakan pengukuran kualitas sinyal diikuti dengan pendudukan kanal dengan metode *short call* ke nomor tujuan tertentu.

c) *Drive Test Quality of Service (QoS) Mode*

Merupakan pengukuran kualitas sinyal yang diikuti dengan pendudukan kanal atau *channel* dengan metode *call kanal setup* dan *call end* dengan rumus atau formula waktu tertentu.

2. Cara pengambilan data

a) *Single Site Verification* (SSV)

Merupakan *drive test* untuk memverifikasi setiap *site* bagus atau tidak. Dilakukan pada *new site* atau *site* yang baru *on air*, serta *maintenance* atau *upgrade*.

b) *Cluster*

Merupakan *drive test* yang megukur jaringan setiap *cluster* atau daerah yang terdiri dari beberapa *site* namun hanya untuk satu operator jaringan yang digunakan.

c) *Benchmark*

Merupakan *drive test* yang membandingkan beberapa operator dalam satu *cluster* atau daerah.

d) Optimasi

Merupakan bagian analisa gangguan atau kurangnya *service quality* pada *site* yang sudah jadi.

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

3.1 Lokasi dan Waktu Perancangan

Lokasi perancangan optimasi jaringan LTE 1800 MHz dan 2100 MHz bertempat di *site* 31140_Lubuk Bukit, Kecamatan Pauh, Padang. Perancangan ini dimulai dengan melakukan *survey site* dan monitoring data statistik dari tanggal 2 Januari 2021 hingga 14 Februari 2021.

3.2 Alur Perancangan

Gambar 3.1 berikut merupakan alur perancangan pergantian perangkat *base station* (metode *swap*) guna untuk optimasi jaringan LTE frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur yang bertujuan untuk mempelajari hasil penelitian yang diterbitkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya guna mendukung penelitian yang sedang dilakukan. Selanjutnya melakukan pengumpulan data *base station existing*. Data yang dikumpulkan melalui hasil *survey site* yang berguna untuk mengetahui perangkat-perangkat *existing* yang terpasang dan pengumpulan data KPI Statistik untuk melihat performansi jaringan terhadap perangkat yang digunakan. Data KPI Statistik ini merupakan pemantauan (monitoring) yang dilakukan oleh OSS *Engineer* PT. H3I, dimana dari data ini dapat dianalisa permasalahan yang muncul, yaitu nilai trafik tinggi dengan nilai *throughput* yang rendah pada *site* 31140_Lubuk Bukit. Dari permasalahan yang muncul, maka selanjutnya dilakukan optimasi jaringan guna untuk mengatasi permasalahan tersebut. Rekomendasi optimasi yang dilakukan

adalah dengan menerapkan metode pergantian perangkat (metode *swap*). Selanjutnya dilakukan proses pengukuran dengan metode *drive test* dan perhitungan dengan model propagasi untuk melihat hasil dari proses optimasi yang dilakukan. Optimasi jaringan dikatakan berhasil jika hasil dari pergantian perangkat mengalami *increase* (peningkatan) dalam hal performansi jaringan sebelumnya.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.3 Pengumpulan Data Base Station Existing

3.4.1 Survey Site

Tujuan dari *survey site* adalah untuk mengetahui kondisi *site*, mulai dari akses lokasi sampai dengan perangkat yang digunakan pada *base station* sebelumnya. Dimana sebelum melakukan *survey*, penulis terlebih dahulu meminta persetujuan kepada pihak PT. Citius Solusi Indonesia (sebagai *subcon*) dan *Tower Company*.

Site 31140_Lubuk Bukit merupakan target *site* penelitian yang berlokasi di Kelurahan Lubuk bukit, Kecamatan Pauh, Padang, Sumatera Barat seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Lokasi *site_31140 Lubuk Bukit* pada *Google Earth*

1. Survey Tipe Perangkat Base Station

Dari hasil *survey* diketahui pada *base station existing* telah tersedia jaringan 2G (1800 MHz) menggunakan perangkat Huawei, jaringan LTE L1800 dan LTE L2100 menggunakan perangkat FXED Nokia, dan jaringan 3G (2100 MHz) menggunakan perangkat FRGU Nokia, dimana kedua perangkat Nokia ini termasuk kedalam tipe *base station Flexi Multi Radio* (FMR) seperti yang terlihat pada gambar 3.3 dan 3.4. Dengan kata lain, pada *base station existing* terdapat 3

perangkat yang berbeda. Ketiga perangkat ini bekerja sesuai dengan frekuensinya masing-masing (tidak merangkap), yang mana secara umum fungsi dari perangkat ini adalah sebagai jembatan yang meneruskan sinyal ke antena sektoral untuk selanjutnya dipancarkan dengan media transmisinya kabel optik.



Gambar 3. 3 Perangkat Nokia *Flexi Multi Radio*
(FXED dan FRGU)



Gambar 3. 4 Perangkat Huawei

2. Survey Tipe Antena

Antena *existing* yang terpasang pada site 31140_Lubuk Bukit adalah antena

tipe HBXX-6517DS-VM dengan karakteristik *single band* dan *beamwidth horizontal* sebesar 67° (rentang frekuensi 1710-1880 MHz) dan 64.9° (rentang frekuensi 1920-2180 MHz). Terdapat 3 buah antena sektoral dimana masing-masing antena memiliki 4 port RF konektor, yaitu 2 port untuk frekuensi 1800 MHz (LTE 1800 + 2G) dan 2 port untuk frekuensi 2100 MHz (LTE 2100 + 3G). Berikut gambar 3.5 merupakan gambar dari tipe antena yang digunakan.



Gambar 3. 5 Tipe antena *existing*

Antena sektoral merupakan jenis *directional microwave antenna* dengan pola radiasi berbentuk sektor. Pola radiasi yang terarah disesuaikan dengan arah *azimuth* yang berbeda yaitu rentang 0° sampai dengan 360° yang berpengaruh terhadap *coverage area* atau seringpula ditambahkan beberapa derajat ketika *coverage* yang dibutuhkan lebih luas. Selain itu, area jangkauan antena satu sektor juga bisa ditentukan oleh proyeksi pola radiasi di tanah yang dapat disesuaikan dengan mengubah sudut kemiringan antena. Dalam beberapa model ini dilakukan secara mekanis dengan secara manual menyesuaikan kemiringan antena dengan braket

pemasangan yang dapat disesuaikan. Kemiringan ini disebut *mechanical tilting* (MDT) dimana kemiringan ini diatur dengan menggunakan *anglemeter*, standar kemiringannya bernilai dari 1 hingga 3 tergantung *planning*, apabila nilai MDT tidak sesuai dengan *planning*, maka kemiringan antena bisa diubah sesuai keinginan sampai mendapatkan hasil yang diinginkan. Selain itu, kemiringan antena juga dapat diatur secara *electrical tilting* (EDT), yaitu dengan mengubah fasa antena. Pengecekan ini menggunakan *knop* dan pita yang berada dibagian bawah antena, dengan nilai rentang 1 hingga 3 sesuai dengan perencanaan, jika nilai EDT tidak sesuai rencana maka *knop* pada antena harus diputar sampai didapatkan nilai EDT sesuai dengan yang direncakan. Berikut gambar 3.6 merupakan bentuk MDT dan EDT antena *existing site* 31140_Lubuk Bukit.



Gambar 3. 6 Mechanical Down Tilt (MDT) dan Electrical Down Tilt (EDT)

Secara keseluruhan konfigurasi *site* 31140_Lubuk Bukit *before swap* dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2 berikut (Data TSSR *server* operator H3I, 2020).

Tabel 3. 1 Konfigurasi antena *site* 31140_Lubuk Bukit (*before swap*)

Site Name	31140_Lubuk Bukit		
Longitude	100,43533		
Latitude	-0,92246		
Antenna	Jumlah Antenna	3	
	<i>Sector</i>	1	2
	<i>Azimuth (°)</i>	110	190
			290

<i>Mech Tilt (°)</i>	2	2	2
<i>Elect Tilt (°)</i>	4	5	3
<i>Antenna Type</i>	HBXX-6517DS- VTM	HBXX- 6517DS- VTM	HBXX- 6517DS- VTM
<i>Antenna Height</i>	36.2 m	36.2 m	36.2 m
<i>Gain antenna</i>	18,5 dBi (1800 MHz)	18,8 dBi (2100 MHz)	
<i>Tower Height</i>		42 m	

Tabel 3. 2 Karakteristik tipe perangkat *base station existing (before swap)*

No.	Karakteristik <i>Base Station</i>	Keterangan
1.	<i>Tipe base station</i>	<i>Flexi Multi Radio</i>
2.	Jumlah perangkat (modul)	2 buah (FXED dan FRGU)
3.	<i>Transmission rate</i>	6100 Mbps
4.	<i>Transmission distance</i>	2 m
5.	<i>Tx supply voltage</i>	3259 mV
6.	<i>Tx bias current</i>	7 mA
7.	<i>Tx power</i>	0,531 mW
8.	<i>Fiber length</i>	2,44 m
9.	<i>Max. Bitrate downlink</i>	300.000 kbps
10.	<i>Max. Number of active UEs/sector</i>	324

3.4.2 Data KPI Statistik *Before Swap*

Data KPI Statik *base station existing* didapatkan melalui monitoring *daily* pada *site 31140_Lubuk Bukit*. Monitoring ini dilakukan dalam rentang 44 hari, yaitu terhitung dari tanggal 2 Januari 2021 sampai dengan tanggal 14 Februari 2021. Data parameter statistik yang didapatkan dari OSS *Engineer* PT. H3I adalah *Radio Resource Radio Control Connection Setup Success Rate* (RRC CSSR) dan *E-UTRAN Radio Access Bearer Setup Success Rate* (E-RAB SSR), *E-UTRAN Radio Access Bearer Drop Ratio* (E-RAB DR), *Throughput Download*, *Intra eNB Handover Out Success Rate*, *Inter eNB Handover Out Success Rate* dan *Traffic*. Data ini dapat dilihat pada lampiran 3, dimana berdasarkan persamaan 2.26 hingga persamaan 2.31, nilai data KPI statistik diatas dapat dihitung berdasarkan tanggal

monitoring *daily*, dimana untuk perhitungan data monitoring untuk tanggal 2 Januari 2021 adalah sebagai berikut.

1. *Radio Resource Radio Control Connection Setup Success Rate (RRC CSSR)*

$$\begin{aligned} RRC\ CSSR &= \frac{RRC\ Connection\ Success}{RRC\ Connection\ Attempt} \times 100\% \\ &= \frac{22.771}{25.467} \times 100\% \\ &= 89,41\% \text{ (*Not Pass*)} \end{aligned}$$

2. *E-UTRAN Radio Access Bearer Setup Success Rate (E-RAB SSR)*

$$\begin{aligned} E - RAB\ SSR &= \left(\frac{E - RAB\ Setup\ Success}{E - RAB\ Setup\ Attempt} \right) \times 100\% \\ &= \frac{17.482}{19.951} \times 100\% \\ &= 87,63\% \text{ (*Not Pass*)} \end{aligned}$$

3. *E-UTRAN Radio Access Bearer Drop Ratio (E-RAB DR)*

$$\begin{aligned} E - RAB\ DR &= \left(\frac{E - RAB\ Abnormal\ Release}{E - RAB\ Release} \right) \times 100\% \\ &= \frac{56}{28.781} \times 100\% \\ &= 0,20\% \text{ (*Not Pass*)} \end{aligned}$$

4. *Throughput Download = 6.472 kbps (*Not Pass*)*

5. *Intra eNB Handover Out Success Rate*

$$\begin{aligned} Intra\ eNB\ HSR &= \left(\frac{Intra\ eNB\ Success}{Intra\ eNB\ Attempt} \right) \times 100\% \\ &= \frac{2.087}{2.363} \times 100\% \\ &= 88,32\% \text{ (*Not Pass*)} \end{aligned}$$

6. *Inter eNB Handover Out Success Rate*

$$\begin{aligned} \text{Inter eNB HO SR} &= \left(\frac{\text{Inter eNB Success}}{\text{Inter eNB Attempt}} \right) \times 100\% \\ &= \frac{1.074}{1.194} \times 100\% \\ &= 89,94\% \text{ (*Not Pass*)} \end{aligned}$$

7. *Traffic = 96 GB (*Not Pass*)*

Monitoring *daily* ini dilakukan sampai dengan tanggal 14 Februari 2021 dimana untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat kalkulasi hasil perhitungannya pada lampiran 3.

3.5 Optimasi Jaringan

Pergantian (*swap*) perangkat *base station* merupakan rekomendasi optimasi jaringan yang dilakukan. Implementasi pergantian perangkat pada *site 31140_Lubuk Bukit* dilakukan pada tanggal 3 Februari 2021 hingga 6 Februari untuk proses instalasinya, tanggal 16 Februari 2021 untuk proses *commissioning* atau proses mengaktifkan perangkatnya dan tanggal 6 Juni 2021 untuk proses pengukurannya.

Implementasi pergantian perangkat (*swap*) dilakukan berdasarkan *datasheet Radio Network Planning (RNP)* oleh PT. H3I terhadap *site 31140_Lubuk Bukit* yang meliputi pergantian perangkat modul *base station* (tipe *Flexi Multi Radio* menjadi tipe *Airscale*) dan perangkat antena (antena sektoral menjadi antena multisektoral). Berikut tabel 3.3 merupakan tabel *datasheet* perangkat *base station* yang akan digunakan pada proses *swap*, sedangkan tabel 3.4 merupakan *Radio Network Planning* untuk pergantian perangkat antena (Site Data Base server operator H3I, 2020).

Tabel 3. 3 *Datasheet* perangkat modul *base station*

Site ID	CI	Physical Sector	Site Name	Tower Type	Layer Type	Longitude	Latitude	Antenna Type	Antenna Frequency	Antenna Horizontal Beamwidth	Feeder Type	Bandwidth DUMP	SIMO to MIMO DUMP
31140	0	1	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	0,-9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	1	2	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	2	3	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	6	4	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	7	5	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	8	6	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (1800)
31140	21	1	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)
31140	22	2	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)
31140	23	3	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)
31140	27	4	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)
31140	28	5	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)
31140	29	6	031140_LUBUK_BUKIT_4G	Greenfield	Macro	100,44	-0,9225	TYDB-172720DE4-33FT2	1710-2690	30	Feederless	10	MIMO (2100)

Tabel 3. 4 *Datasheet Radio Network Planning* perangkat antena

Information	Sectored 2G			Sectored 3G			Sected LTE		
	Sec1	Sec2	Sec3	Sec1	Sec2	Sec3	Sec1	Sec2	Sec3
Support/pole no.	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Number of antennas	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Antenna Size (HxWxD)	1870x160x80								
Antenna beam width (horizontal)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Antenna Gain (dBi)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Antenna Frequency	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690	1710-2690
Antenna Manufature	TYDB-B-17272								

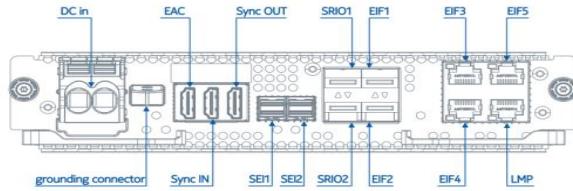
r / model	0DE4-33FT2	0DE4-33FT2	4-33FT2						
Antenna Height	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Azimuth	90	180	270	90	180	270	90	180	270
Mechanical Tilt (MDT)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Electrical Tilt (EDT)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Total Tilting	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Feeder size/type (i.e. 7/8; 1 1/4; etc):	Feederless								
Feeder length/ Feeder less	Feederless								

3.5.1 Implementasi Pergantian Perangkat *Base Station*

Berdasarkan tabel 3.3 terlihat bahwa pada proses instalasi perangkat *base station* menggunakan perangkat *Multi Input Multi Output* (MIMO) dengan tipe *base station airscale*. Berikut merupakan proses instalasi dari perangkat *base station* tipe *airscale*:

1. Instalasi Perangkat Modul ASIA/ABIA

Modul ASIA/ABIA merupakan dua modul yang menjadi perangkat inti dalam *Airscale Base Station* yang berfungsi sebagai pusat kontrol transportasi dari *port* akses radio. Pada modul ini terdapat beberapa *port* yang dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3. 7 Interface Instalation Perangkat ASIA/ABIA Base Station Airscale

dan gambar 3.8 dibawah merupakan instalasi pada modul ASIA yang telah mengikuti panduan instalasi yang ditunjukkan pada gambar 3.7 diatas, dimana terdapat beberapa port yang fungsinya:



Gambar 3. 8 Aktual Instalasi Port Kabel Modul ASIA

- DC IN, merupakan *port power* yang berfungsi sebagai sumber tegangan *input* yang dialirkan ke semua perangkat. Perangkat akan aktif (*On Air*) jika kabel *power* pada modul ini telah dihubungkan ke perangkat lain dengan ditandai lampu hijau pada *display* modul.
- Grounding connector*, berfungsi untuk mencegah kerusakan akibat adanya bocor tegangan dalam perangkat.
- External Alarm Connection (EAC)* merupakan *port alarm* yang berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan dari benda luar, seperti ulah manusia, suhu dan bencana alam (hujan). Peringatan alarm ini akan dikirim

otomatis ke tim monitoring melalui serangkaian sistem informasi berbasis *website*.

- d) *Local Management Port (LAN)* merupakan *port* yang tersedia di dalam perangkat sistem modul BTS. Biasanya *port* ini digunakan untuk koneksi kabel LAN ke perangkat komputer yang berfungsi untuk menghubungkan antar kedua perangkat. Sehingga melalui kabel LAN dan serangkaian sistem informasi berbasis *website* dapat dilihat aktifitas perangkat sistem modul BTS ini sudah bekerja dengan optimal atau tidak.

Modul kedua yaitu **modul ABIA** yang merupakan bagian sistem modul *indoor*. Modul ini memiliki 6 antarmuka RF optik yang mendukung kecepatan akses data hingga 6 Gbps. RF optik merupakan jalur penghantar sinyal transmisi melalui perangkat AHEGB, yaitu perangkat transmisi yang berfungsi sebagai module pemancar dan penerima yang dihubungkan ke modul ABIA dan antena sektoral untuk transfer data. Berikut gambar 3.9 merupakan instalasi kabel optik ke modul ABIA dan gambar 3.10 merupakan gambar aktual instalasi perangkat *base station tipe airscale*.



Gambar 3.9 *Interface* instalasi kabel optik ke modul ABIA dan Aktual Instalasi RF Optik



Gambar 3. 10 Aktual Instalasi Perangkat *Base Station* Tipe *Airscale*

2. Instalasi Modul AHEGB

AHEGB merupakan perangkat transmisi yang berfungsi sebagai modul pemancar dan penerima yang dihubungkan ke modul ABIA dan antena sectoral (pemancar dan penerima) untuk transfer data. Adapun proses instalasinya:

- Pemasangan FPKA atau *Pole Mounting Kit* pada dasar AHEGB.

Ini merupakan tatakan/pondasi dari AHEGB itu sendiri untuk bisa dipasang di tiang (*pole*) BTS nantinya. Karena pada dasarnya perangkat ini posisinya berada diatas berdampingan dengan antena sektoral. Berikut gambar 3.11 merupakan bentuk instalasinya.



Gambar 3. 11 Pemasangan FPKA

b) Pemasangan konektor AHEGB

Fungsi dari konektor ini adalah sebagai penghubung antara satu perangkat dengan perangkat lain. Pada *BTS Airscale* ini perangkat yang dihubungkan dari AHEGB ini adalah sistem modul dan antena sektoral seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12 berikut.



Gambar 3. 12 Pemasangan Konektor AHEGB

c) Pemasangan AHEGB ke *Leg Tower*

Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan FPKA yang telah terpasang tadi dan memposisikannya di *leg tower* (BTS). Adapun posisi dari AHEGB ini berdampingan atau tidak berjauhan dari antena sektoral. Pada gambar 3.13 merupakan pemasangan instalasi dari perangkat AHEGB.



Gambar 3. 13 Pemasangan AHEGB di *leg tower*

d) Pemasangan *Jumper* dan Konektor *Fiber Optic*

Jumper dan konektor *fiber optic* ini dihubungkan ke antena. Dalam pemasangannya perlu diberikan isolasi seperti pada gambar 3.14 dibawah ini. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah masuknya air pada saat hujan. Jika perangkat ini kemasukan air bisa menyebabkan konslet (arus listrik pendek) dan juga akan menghambat proses pengiriman data pada jalur optiknya.



Gambar 3. 14 Pemasangan *Jumper* dan Konektor *Fiber Optic*

Proses instalasi AHEGB BTS Airscale dikatakan berhasil jika semua perangkat yang terhubung bisa bekerja dengan baik. Ini dapat dilihat dari proses sinyal transmisi yang ditangkap oleh antena sektoral diteruskan ke perangkat AHEGB melalui konektor optik sebagai jalur transmisinya. Selanjutnya dari perangkat AHEGB diteruskan ke sistem module (ASIA/ABIA). Dari sistem module inilah perangkat *BTS* secara keseluruhan dapat di monitoring melalui sitem informasi berbasis web, baik itu kondisi *up and down*.

3.5.2 Implementasi Pergantian Antena

Proses intalasi antena multisektoral berdasarkan konfigurasi tabel 3.6 dapat dilihat pada poin-poin berikut ini.

1. Pemasangan *jumper* antena

Jumper berfungsi sebagai transmisi data dari antena menuju perangkat *base station* (ASIA/ABIA dan AHEGB). Pemasangan ini dilakukan dengan benar dan kuat bertujuan untuk mendapatkan VSWR sesuai dengan nilai standarisasinya, yaitu 1.1 V (Nokia, 2020). Berikut merupakan gambar 3.15 dari pemasangan *jumper* pada antena.



Gambar 3. 15 Pemasangan Jumper Antena

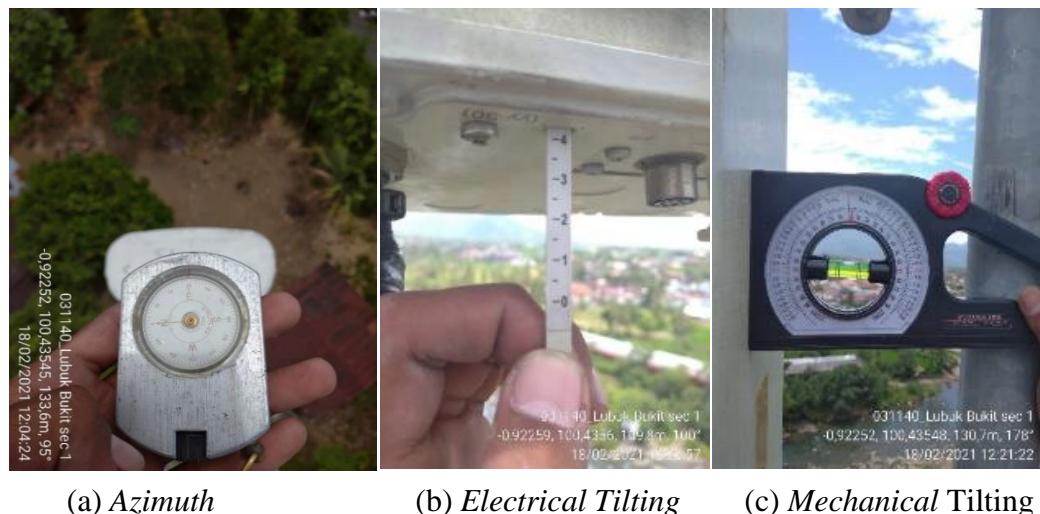
2. Pemasangan *kit mounting* antena

Kit mounting berfungsi untuk pengait antena dengan *boom* sebagai tempat pemasangan antena dan juga digunakan untuk mengatur kemiringan antena serta mengunci antena pada tempat pemasangan antena. *Kit mounting* terbagi 2, yaitu *kit mounting upper* yang berfungsi untuk menempelkan antena dan menentukan kemiringan antena dan *kit mounting lower* berfungsi untuk menguatkan posisi antena agar tidak lari saat dipasang pada *tower*. Untuk *kit mounting upper* dilakukan penguncian pada lubang *angle* sesuai dengan kemiringan antena yang diinginkan pada data *planning*. Berikut gambar 3.16 merupakan bentuk pemasangan *kit mounting* pada antena.



Gambar 3. 16 Pemasangan Kit Mounting Antena

3. Pengecekan calupan *coverage area*



Gambar 3. 17 Pengecekan Cakupan *Coverage Area*

Azimuth adalah arah antena yang diatur secara horizontal dengan cara mengubah-ubah posisi *kit mounting* yang terhubung ke kaki *tower*. *Electrical tilting* adalah perubahan bentuk polarisasi antena yang diatur secara elektronik, dimana konsepnya semakin besar nilai *electrical tilting*, maka semakin kecil pula *coverage* yang diberikan. Sedangkan *mechanical tilting* adalah perubahan arah antena *tilting* dengan mengubah *tilt angle* yang terletak di *bracket* (pengait antena), dimana konsepnya semakin besar derajat *mechanical*, maka antena

semakin menunduk yang menyebabkan *coverage* pada *main lobe* berkurang, sedangkan pada sisi *lobe* melebar. Berikut gambar 3.17 merupakan gambar pengecekan nilai *azimuth*, *electrical tilting*, dan *mechanical tilting* sesuai dengan *planning* secara berturut-turut.

Secara keseluruhan konfigurasi *site* 31140_Lubuk Bukit *after swap* dapat dilihat pada tabel 3.5 dan 3.6 berikut (Data implementasi *swap* H3I, 2020).

Tabel 3. 5 Konfigurasi antena *site* 31140_Lubuk Bukit (*after swap*)

<i>Site Name</i>	31140_Lubuk Bukit					
<i>Longitude</i>	100,43533					
<i>Latitude</i>	-0,92246					
<i>Antenna</i>	<i>Jumlah Antenna</i>	3				
	<i>Sector</i>	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	6
	<i>Azimuth</i> (°) (fisik)	90		180		270
	<i>Azimuth</i> (°) (beam)	60	120	150	210	240
	<i>Mech Tilt</i> (°)	3		3		3
	<i>Elect Tilt</i> (°)	4	4	4	4	4
	<i>Antenna Type</i>	AMB4520R0	AMB4520R0	AMB4520R0		
	<i>Antenna Height</i>	36.2 m		36.2 m		36.2 m
	<i>Gain antenna</i>	19 dBi (1800 MHz)		19,5 dBi (2100 MHz)		
<i>Tower Height</i>	42 m					

Tabel 3. 6 Karakteristik tipe perangkat *base station existing* (*after swap*)

No.	Karakteristik <i>Base Station</i>	Keterangan
1.	Tipe <i>base station</i>	<i>Airscale</i>
2.	Jumlah perangkat (modul)	1 buah (AHEGB)
3.	<i>Transmission rate</i>	9800 Mbps
4.	<i>Transmission distance</i>	53 m
5.	<i>Tx supply voltage</i>	3202 mV
6.	<i>Tx bias current</i>	5 mA
7.	<i>Tx power</i>	29,51 W atau 44,7 dBm
8.	<i>Fiber length</i>	53,09 m
9.	<i>Max. Bitrate downlink</i>	170.000 kbps
10.	<i>Max. Number of active UEs/sector</i>	324

3.6 Perhitungan dan Pengukuran Performasi Jaringan

3.6.1 Perhitungan Model Propagasi

Pada dasarnya perhitungan model propagasi digunakan untuk melihat nilai *loss propagasi* (L_p) dan *receive power* (Prx) dari suatu jaringan, dimana kedua nilai ini menunjukkan performansi yang dipancarkan oleh suatu jaringan. Berdasarkan cara kerjanya, model propagasi yang digunakan adalah model propagasi COST-231 untuk frekuensi 1800 MHz dan model propagasi *Standford University Interim* (SUI) untuk frekuensi 2100 MHz.

Pada perhitungan model propagasi dibutuhkan data *path length*, dimana data ini sebagai rujukan sejauh mana pancaran sinyal *base station* dapat diterima oleh *user* atau *mobile station*. Berikut data *site* 31140_Lubuk Bukit dengan titik sampel *receiver* (*Mobile Station*) pada frekuensi 1800 dan 2100 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.7 dan tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 7 Data Site 31140_Lubuk Bukit dan Titik Sampel Mobile Station (Frekuensi 1800 MHz)

Transmitter				Receiver		
Longitude	Latitude	Tinggi	Power	MS	Longitude	Latitude
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS1	100,43676	-0,92111
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS2	100,43451	-0,92380
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS3	100,43638	-0,92472
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS4	100,44050	-0,92438
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS5	100,43329	-0,92648

Tabel 3.8 Data Site 31140_Lubuk Bukit dan Titik Sampel Mobile Station (Frekuensi 2100 MHz)

Transmitter				Receiver		
Longitude	Latitude	Tinggi	Power	MS	Longitude	Latitude
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS6	100,43607	-0,92152
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS7	100,43377	-0,92327
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS8	100,43645	-0,92587
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS9	100,44098	-0,92423
100,43533	-0,92246	32,6 m	29,51 W	MS10	100,43316	-0,92868

Berdasarkan tabel 3.7 dan tabel 3.8 diatas dapat dihitung nilai jarak antar *site* ke MS yang dikenal dengan *path length*, dan setelah diketahui nilai *path length* antara *site* dan *mobile station* maka selanjutnya bisa dilakukan perhitungan terhadap nilai *loss propgasi* dan *receive power* antara *site* dan *mobile station*. Adapun perhitungan untuk *path length*, *loss propgasi* dan *receive power* sesuai koordinat *transmitter* dan *receiver* diatas adalah sebagai berikut.

1. *Site 31140_Lubuk Bukit – MS1 (Frekuensi 1800 MHz)*

a) Perhitungan *path length*:

$$\begin{aligned}\text{Jarak Lintang} &= |\text{Lintang Site} - \text{Lintang MS1}| \times 110,33 \\ &= |-0,92246 - (-0,92111)| \times 110,33 \\ &= -0,149 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak Bujur} &= |\text{Bujur Site} - \text{Bujur MS1}| \times 111,32 \\ &= |100,43533 - 100,43676| \times 111,32 \\ &= -0,159 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak site 31140 – MS1} &= \sqrt{\text{Jarak Lintang}^2 + \text{Jarak Bujur}^2} \\ &= \sqrt{(-0,149)^2 + (-0,159)^2} \\ &= 0,217 \text{ km}\end{aligned}$$

b) Perhitungan *Loss Propagation* dan *Receive Power*

Untuk frekuensi 1800 MHz menggunakan perhitungan model propagasi COST-231 dengan karakteristik *site* sebagai berikut.

$$\text{Diketahui : } f_c = 1800 \text{ MHz} \quad h_{re} = 1,5 \text{ m}$$

$$h_{te} = 32,6 \text{ m} \quad d = 0,217 \text{ km}$$

$$\text{Ditanya : } L_u \text{ dan } L_{su/r} = ?$$

Jawab :

Urban

$$\begin{aligned}
a(h_{re}) &= 3,2 (\log 11,75 h_{re})^2 - 4,997 \\
&= 3,2 (\log 11,75 (1,5))^2 - 4,997 \\
&= 3,247 \\
L_{u(dB)} &= 46,33 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + \\
&\quad (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + cm \\
&= 46,33 + 33,9 \log 1800 - 13,82 \log 32,6 - 3,247 + \\
&\quad (44,9 - 6,55 \log 32,6) \log 0,217 + 3 \\
&= 112,34 \text{ dB} \\
P_{RX} &= P_{TX-} L_u + G_{TX} + G_{RX} \\
&= 44,7 - 112,34 + 19 + 0 \\
&= -48,64 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

Sub Urban/Rural

$$\begin{aligned}
a(h_{re}) &= (1,1 \log (f_c) - 0,7) h_{re} - (1,56 \log (f_c) - 0,8) \\
&= (1,1 \log (1800) - 0,7) 1,5 - (1,56 \log (1800) - 0,8) \\
&= 0,043 \\
L_{su/ru(dB)} &= 46,33 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + \\
&\quad (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + cm \\
&= 46,33 + 33,9 \log 1800 - 13,82 \log 32,6 - 0,043 \\
&\quad + 44,9 - 6,55 \log 32,6) \log 0,217 + 0 \\
&= 112,55 \text{ dB} \\
P_{RX} &= P_{TX-} L_{su/r1} + G_{TX} + G_{RX} \\
&= 44,7 - 112,55 + 19 + 0 \\
&= -48,85 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

2. Site 31140_Lubuk Bukit – MS11 (Frekuensi 2100 MHz)

a) Perhitungan *path length*:

$$\begin{aligned}\text{Jarak Lintang} &= |\text{Lintang Site} - \text{Lintang MS1}| \times 110,33 \\ &= |-0,92246 - (-0,92152)| \times 110,33 \\ &= -0,104 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak Bujur} &= |\text{Bujur Site} - \text{Bujur MS1}| \times 111,32 \\ &= |100,43533 - 100,43607| \times 111,32 \\ &= -0,083 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak site 31140 – MS1} &= \sqrt{\text{Jarak Lintang}^2 + \text{Jarak Bujur}^2} \\ &= \sqrt{(-0,104)^2 + (-0,083)^2} \\ &= 0,133 \text{ km}\end{aligned}$$

c) Perhitungan *Loss Propagation* dan *Receive Power*

Untuk frekuensi 2100 MHz menggunakan perhitungan model propagasi *Standford University Interim* dengan karakteristik *site* sebagai berikut.

$$\text{Diketahui : } f_c = 2100 \text{ MHz} \quad h_{re} = 1,5 \text{ m}$$

$$h_{te} = 32,6 \text{ m} \quad d = 133 \text{ m}$$

Ditanya : L_u , L_{su} dan L_r = ?

Jawab :

Urban

$$\begin{aligned}A &= 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \\ &= 20 \log \left(\frac{4 \times 3,14 \times 100}{0,14} \right) \longrightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{21 \times 10^8} = 0,14 \\ &= 79,06 \text{ dB}\end{aligned}$$

$$\gamma = a - b h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right)$$

$$= 4,6 - \left(0,0075 \times 32,6 \right) + \left(\frac{12,6}{32,6} \right)$$

$$= 4,74 \text{ dB}$$

$$X_f = 6 \log\left(\frac{f}{1900}\right)$$

$$= 6 \log\left(\frac{2100}{1900}\right)$$

$$= 0,26 \text{ dB}$$

$$X_h = -10,8 \log\left(\frac{h_r}{2000}\right)$$

$$= -10,8 \log\left(\frac{1,5}{2000}\right)$$

$$= 33,75 \text{ dB}$$

$$L_u = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S$$

$$= 79,06 + (10 \times 4,74 \log\left(\frac{133}{100}\right)) + 0,26 + 33,75 + 10,6$$

$$= 129,54 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = P_{TX} - L_u + G_{TX} + G_{RX}$$

$$= 44,7 - 97,14 + 19,5 + 0$$

$$= -65,34 \text{ dBm}$$

Sub Urban

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

$$= 20 \log\left(\frac{4 \times 3,14 \times 100}{0,14}\right) \longrightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{21 \times 10^8} = 0,14$$

$$= 79,06 \text{ dB}$$

$$\gamma = a - b h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right)$$

$$= 4 - \left(0,0065 \times 32,6 \right) + \left(\frac{17,1}{32,6} \right)$$

$$= 4,31 \text{ dB}$$

$$X_f = 6 \log\left(\frac{f}{1900}\right)$$

$$= 6 \log\left(\frac{2100}{1900}\right)$$

$$= 0,26 \text{ dB}$$

$$X_h = -10,8 \log\left(\frac{h_r}{2000}\right)$$

$$= -10,8 \log\left(\frac{1,5}{2000}\right)$$

$$= 33,75 \text{ dB}$$

$$L_{su} = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S$$

$$= 79,06 + \left(10 \times 4,31 \log\left(\frac{133}{100}\right) \right) + 0,26 + 33,75 + 9,4$$

$$= 127,81 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = P_{TX} - L_u + G_{TX} + G_{RX}$$

$$= 44,7 - 95,41 + 19,5 + 0$$

$$= -63,61 \text{ dBm}$$

Rural

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{4 \times 3,14 \times 100}{0,14} \right) \longrightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{21 \times 10^8} = 0,14$$

$$= 79,06 \text{ dB}$$

$$\gamma = a - b h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right)$$

$$= 3,6 - \left(0,005 \times 32,6 \right) + \left(\frac{20}{32,6} \right)$$

$$= 4,05 \text{ dB}$$

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right)$$

$$= 6 \log \left(\frac{2100}{1900} \right)$$

$$= 0,26 \text{ dB}$$

$$X_h = -20 \log \left(\frac{h_r}{2000} \right)$$

$$= -10,8 \log \left(\frac{1,5}{2000} \right)$$

$$= 62,5 \text{ dB}$$

$$L_r = A + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + S$$

$$= 79,06 + \left(10 \times 4,05 \log \left(\frac{133}{100} \right) \right) + 0,26 + 62,5 + 8,2$$

$$= 155,03 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = P_{TX-} L_u + G_{TX} + G_{RX}$$

$$= 44,7 - 95,03 + 19,5 + 0$$

$$= -90,83 \text{ dBm}$$

Untuk perhitungan titik sampel selanjutnya, yaitu frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHZ dari MS2 hingga MS10 dengan klasifikasi daerah urban, sub urban dan rural dapat dilihat pada hasil dan pembahasan (bab 4).

3.6.2 Pengukuran Metode *Drive Test*

Tujuan dilakukannya *drive test* adalah untuk melihat kualitas dan kapasitas sinyal secara langsung di lapangan berdasarkan parameter KPI *Drive Test*. Berikut langkah kerja pengambilan data *drivetest* secara ringkas.

1. Konfigurasi TEMS Investigation

Sebelum melakukan *drivetest* harus dilakukan konfigurasi *TEMS* dengan *server* yang akan di *download*, karena untuk melakukan pengecekan kekuatan *RSRP*, *SINR* dan *Throughput* dan perpindahan jaringan 2G ke 4G pada saat melakukan panggilan telepon. Berikut langkah konfigurasi *TEMS Investigation*

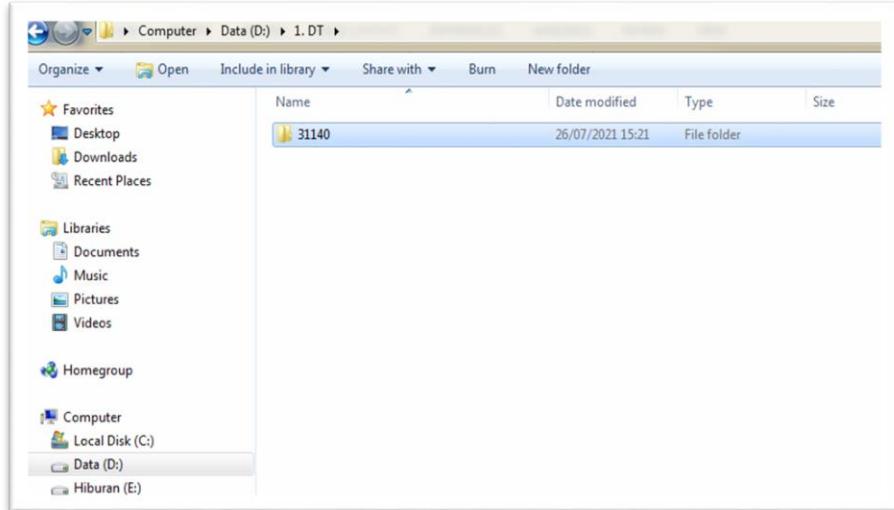
16.3.3 PC SW.

a) Menjalankan aplikasi *TEMS Investigation 16.3.3 PC SW* yang terdapat pada laptop. Disini penulis menggunakan laptop *Lenovo* sebagai media *TEMS Investigation* yang digunakan untuk *record* data *drive test*. Berikut gambar 3.18 merupakan tampilan awal dari aplikasi *TEMS Investigation 16.3.3 PC SW*.



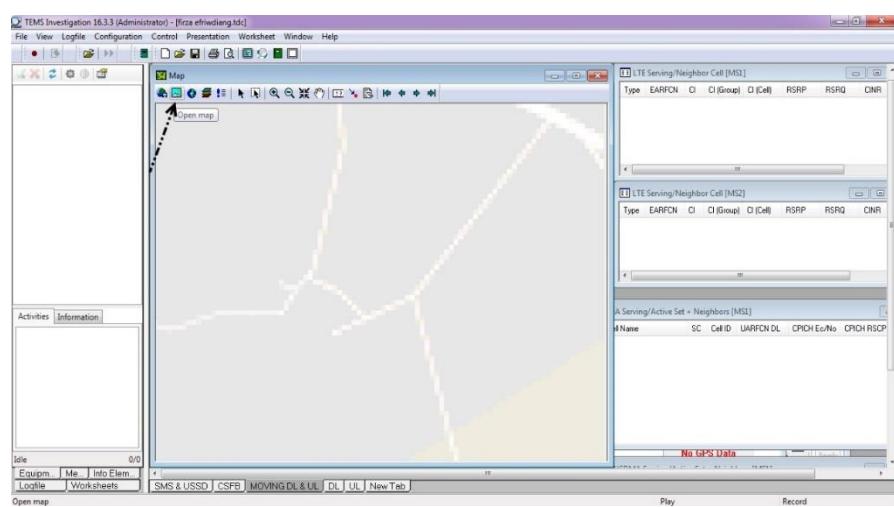
Gambar 3. 18 Tampilan Awal *TEMS Investigation*

- b) Setelah aplikasi *TEMS Investigation* dijalankan, langkah selanjutnya buat *folder site* yang akan dilakukan proses *drive test*, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.19 berikut.



Gambar 3. 19 *Folder site*

- c) Selanjutnya memasukkan data *gcell* yaitu suatu *map file* yang menunjukkan - posisi *base station* kepunyaan suatu operator (*server operator H3I*) dan melihat arah *azimuth*. Adapun cara memasukkan data *gcell* ini dengan mengklik *icon open map* seperti pada gambar 3.20 berikut.



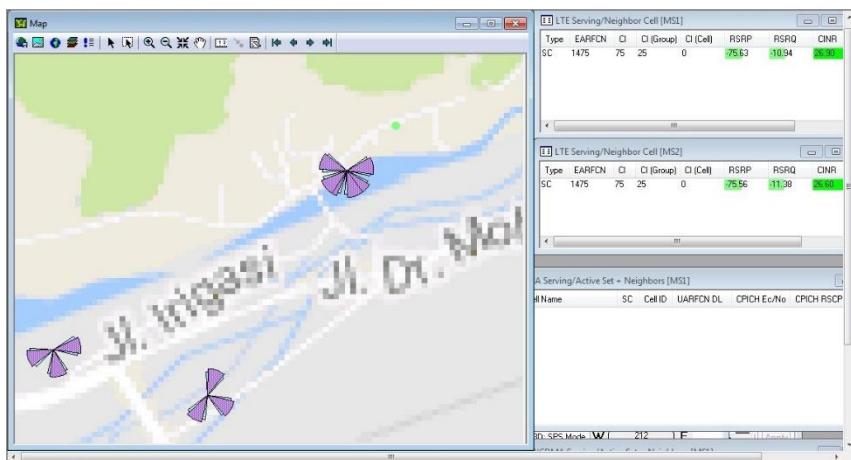
Gambar 3. 20 *Open Map*

d) Masukkan file *gcell* > *open* seperti pada gambar 3.21 berikut.



Gambar 3. 21 *Open file gcell*

e) Kemudian akan muncul tampilan *gcell* seperti gambar 3.22 berikut.



Gambar 3. 22 *Tampilan gcell*

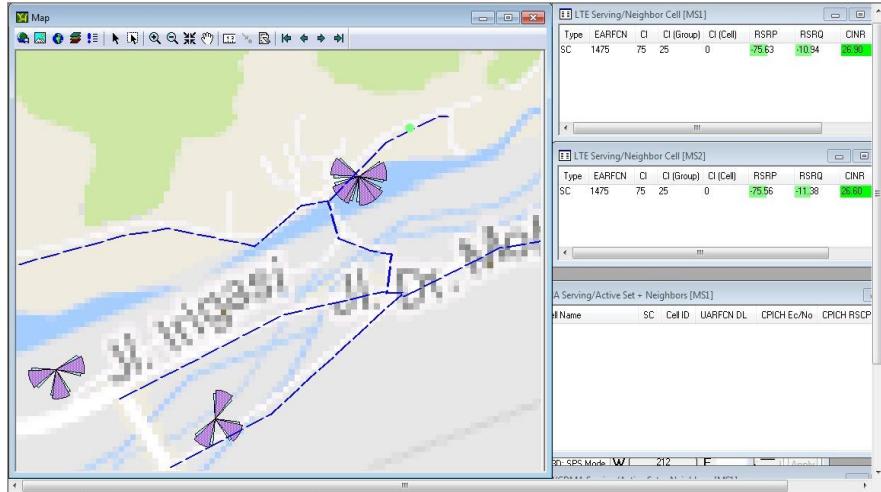
f) Masukkan jalur *site 31140_Lubuk Bukit* dengan cara mengklik icon *open map*

> *open file route* seperti pada gambar 3.23 berikut.



Gambar 3. 23 *Open file route*

g) Kemudian akan muncul tampilan rute site seperti gambar 3.24 berikut.



Gambar 3. 24 Tampilan rute *drive test*

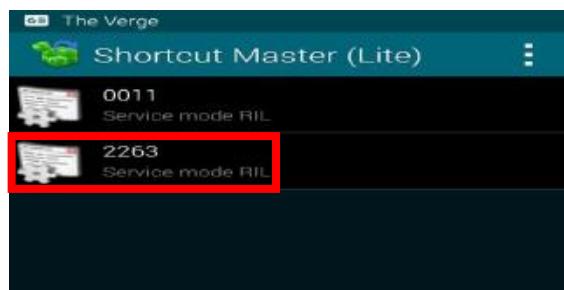
h) Selanjutnya melakukan konfigurasi pada *Mobile Station* (MS), dimana sebelum melakukan pengambilan data *drive test* perlu me-*Lock Band* frekuensi pada MS. Pada *site 31140_Lubuk Bukit* akan dilakukan pengambilan data *drive test* jaringan LTE dengan frekuensi 1800 MHz (LTE B3) dan 2100 Mhz (LTE B1), Disini penulis menggunakan dua buah *Mobile Station* (MS1 dan MS2), dimana MS1 berfungsi sebagai *idle* yaitu untuk mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh pelanggan dan MS2 digunakan sebagai terminal untuk panggilan, *upload* dan *download* maupun *video call*. Selain itu perlu juga disiapkan *sim card* dari operator yang akan diukur (operator Tri).

i) Jika akan melakukan *drive test* terhadap LTE 1800 MHz, maka di *Lock Band L1800* untuk MS1 dan MS2 dengan cara buka aplikasi *Shortcut Master (Lite)* yang sudah terinstal pada *smartphone* seperti gambar 3.25 berikut.



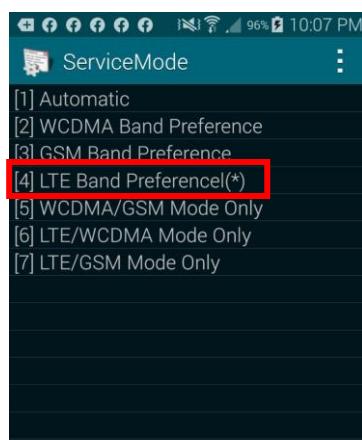
Gambar 3. 25 Tampilan Aplikasi *Shorcut Master (Lite)*

j) Selanjutnya pilih *Service Mode RIL* 2263 seperti gambar 3.26 berikut.



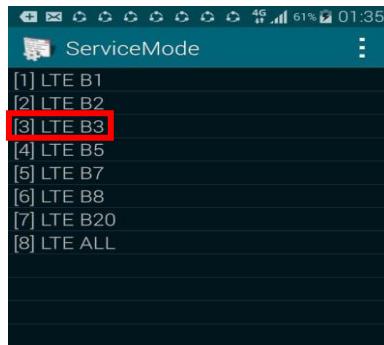
Gambar 3. 26 Konfigurasi *Service Mode*

k) Kemudian akan muncul tampilan seperti gambar 3.27 berikut, dan selanjutnya pilih *LTE Band Preference* untuk mengatur *Lock Band 4G*.

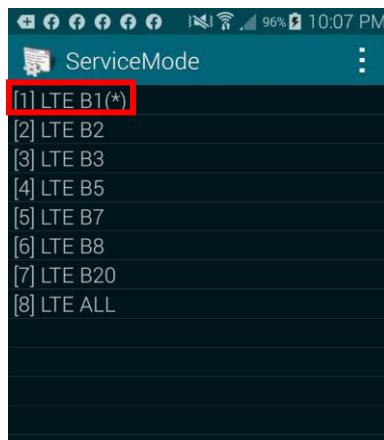


Gambar 3. 27 Konfigurasi *Lock Band 4G*

- l) Kemudian akan muncul tampilan seperti gambar 3.28 untuk *Lock Band L1800*
pilih LTE B3 dan gambar 3.29 untuk *Lock Band L2100* pilih LTE B1

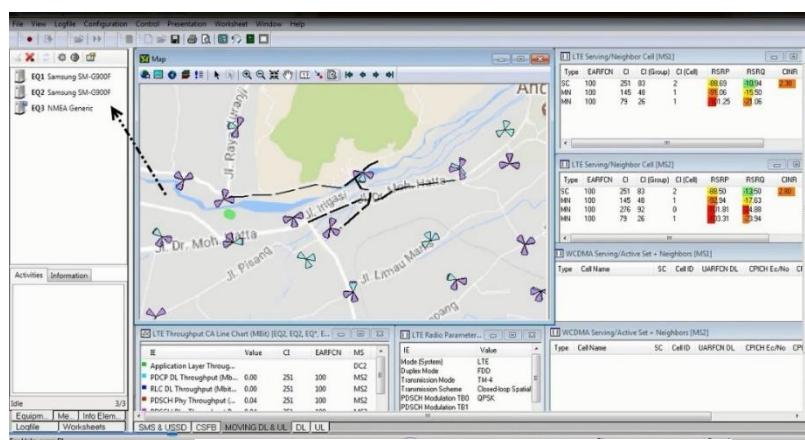


Gambar 3. 28 *Lock Band L1800*



Gambar 3. 29 *Lock Band L2100*

- m) Selanjutnya aktifkan MS1, MS2 dan GPS pada aplikasi *TEMS Investigation*, dimana hal ini bertujuan untuk mengatur peralatan atau *equipment* (EQ) yang digunakan, yaitu EQ 1 sebagai MS1 *idle*, EQ2 sebagai MS2 *dedicated* dan EQ3 sebagai GPS seperti yang ditampilkan pada gambar 3.30 berikut.

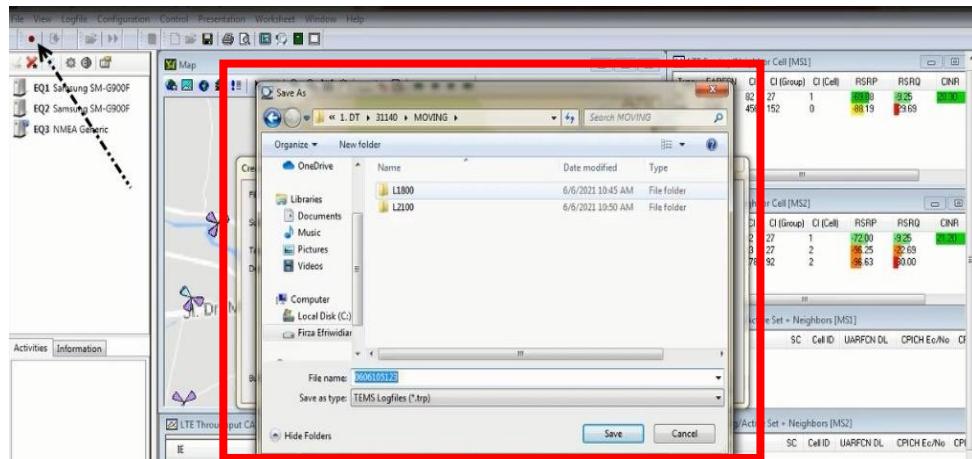


Gambar 3. 30 *Activated Equipment*

2. Proses Record Data

Data yang diambil merupakan data ketika dilakukan pergerakan atau moving sesuai dengan rute yang telah ditetapkan. Berikut merupakan tahapan dalam merekam (record) data *drive test*.

- a) Setelah menghubungkan perangkat (*equipment*), kemudian mulai proses *record* dengan menekan ikon *start record* seperti pada gambar 3.31 berikut.



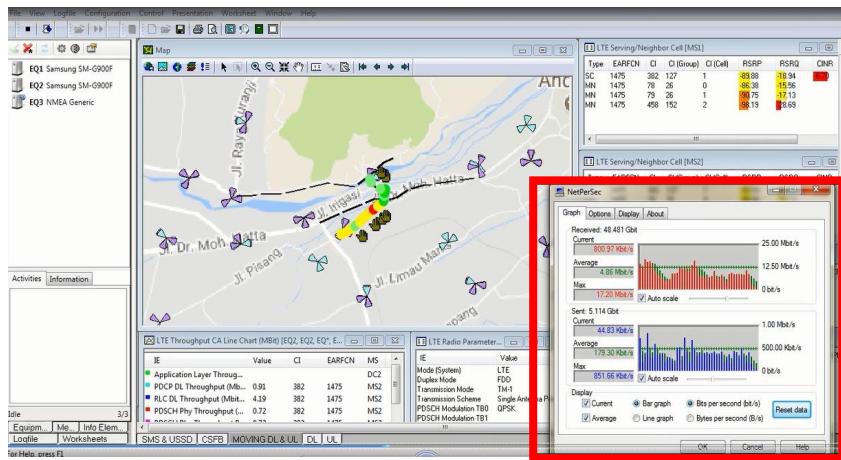
Gambar 3. 31 Start Record

- b) Setelah menekan *start record* secara langsung akan muncul tampilan jendela merah seperti gambar 3.31 di atas. Kemudian klik *browse* sehingga tampil jendela *create file* dan buat *folder moving* (penempatan data ini boleh disimpan dimana saja) seperti pada gambar 3.31 di jendela berwarna merah.
- c) Kemudian *start download in chrome*, hal ini dilakukan untuk merekam nilai *throughput download* di sistem aplikasi TEMS seperti pada gambar 3.32 berikut.

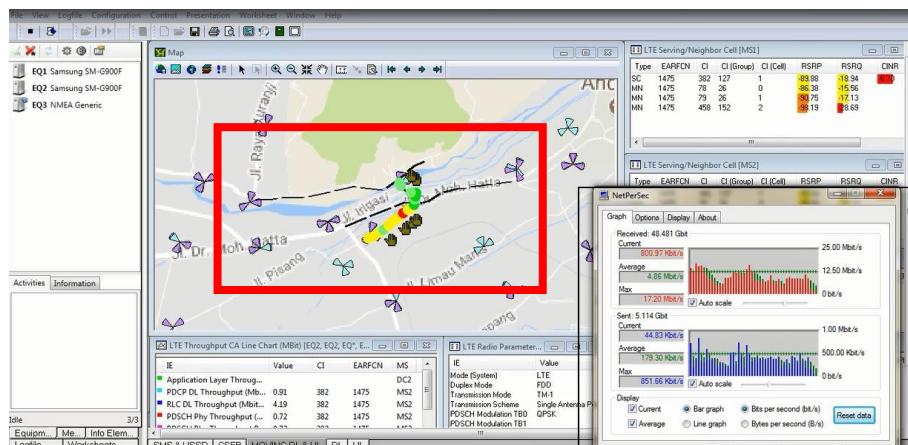


Gambar 3. 32 Start Download

- d) Kemudian aktifkan aplikasi *Net per Second* untuk melihat kecepatan download pada saat *tracking* seperti pada gambar 3.33 dan 3.34 berikut. Kecepatan download ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti masih banyaknya pemakaian jaringan oleh *user* disekitar BTS, *user* sudah jauh dari BTS utama, adanya *obstacle*.

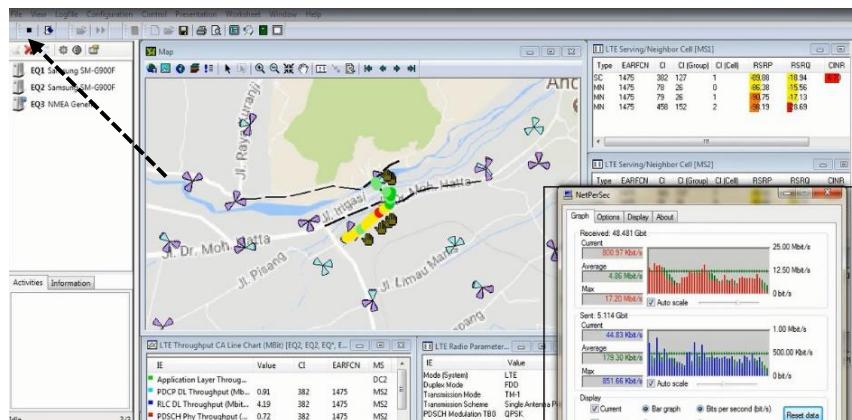


Gambar 3. 33 Tampilan kecepatan download



Gambar 3. 34 Tracking drive test

- e) Setelah data *tracking download* selesai diambil, klik icon *stop record* seperti pada gambar 3.35 berikut dan *stop download* pada chrome. Ulangi langkah sebelumnya sampai semua rute telah di *drive test*.



Gambar 3. 35 Stop record

3.6.3 Pengolahan Data *Drive Test*

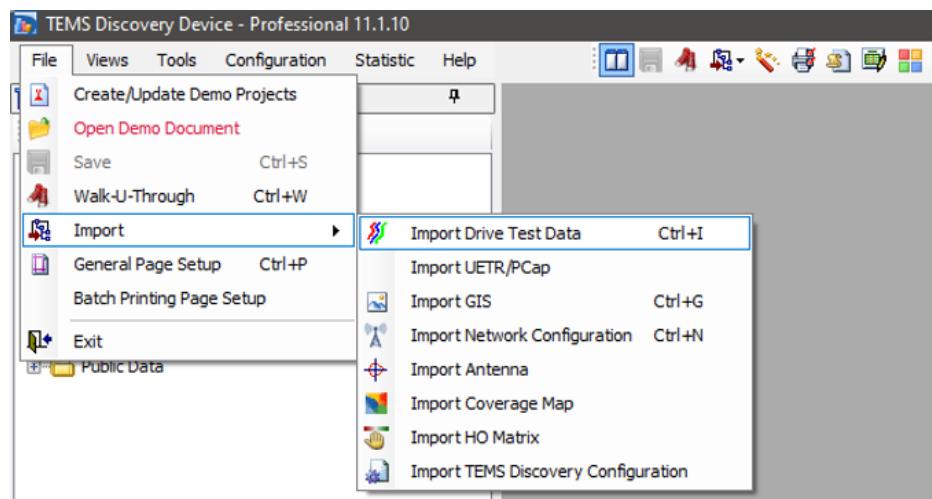
Setelah dilakukan pengambilan data *drive test before* dan *after swap* di site 31140_Lubuk Bukit, selanjutnya dilakukan pengolahan data terhadap data tersebut. Pengolahan data ini bertujuan untuk menampilkan hasil *plotting* semua parameter yang terukur. Adapun dalam pengolahan data ini menggunakan aplikasi *TEMS Discovery* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Membuka aplikasi *TEMS Discovery* yang sudah terinstal di laptop, dengan keadaan *dongle* HSDPA terpasang ke laptop agar aplikasi bisa dibuka dan dijalankan seperti pada gambar 3.36 berikut.



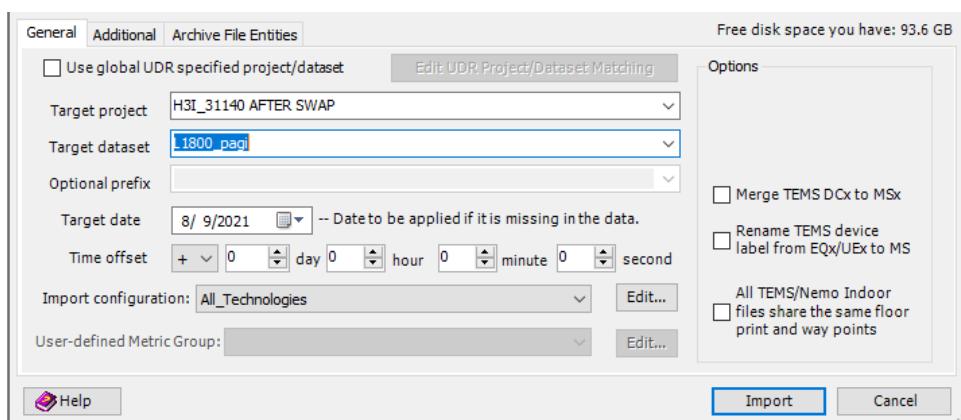
Gambar 3. 36 Tampilan Awal *TEMS Discovery*

- b) Selanjutnya akan muncul tampilan *home* dari aplikasi *TEMS Discovery*, dan selanjutnya melakukan *import data logfile* dengan cara klik menu file > *import* > *import drive test data* seperti gambar 3.37 berikut.



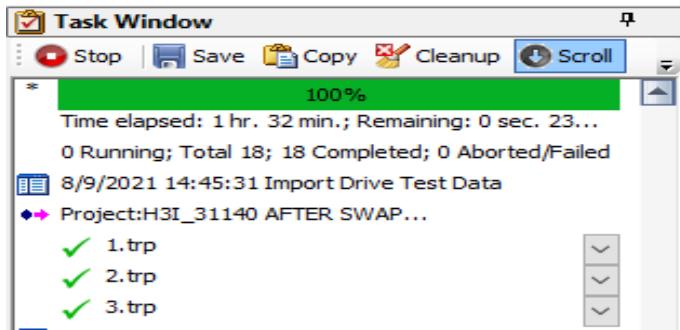
Gambar 3. 37 *Import Logfile*

- c) Selanjutnya mengisi kolom target *project* > target data > *select data & add* > klik *import* seperti pada gambar 3.38 berikut.



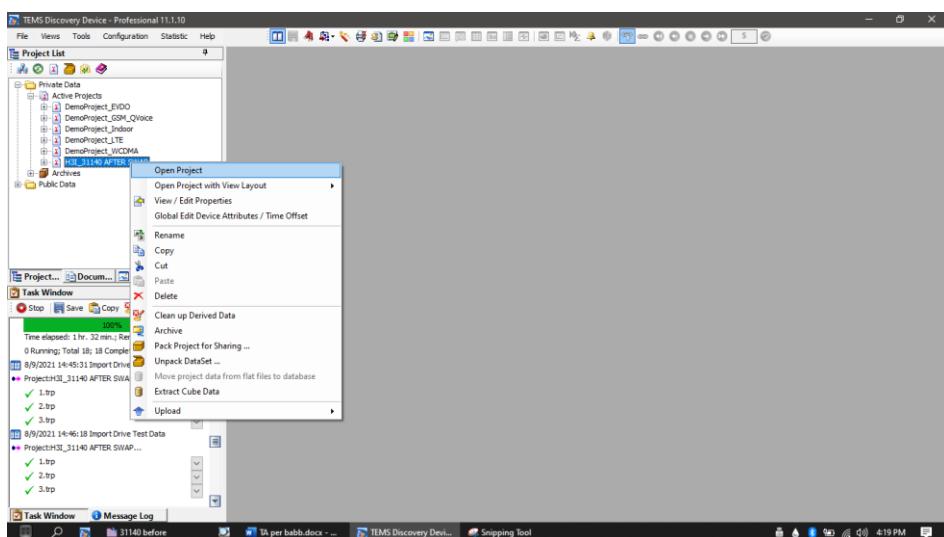
Gambar 3. 38 Pengisian Target Project dan Target Data

- d) Tunggu proses *import* selesai hingga 100% agar hasil *drive test* terlihat dan dapat menampilkan parameter sinyal yang terukur seperti gambar 3.39 berikut.



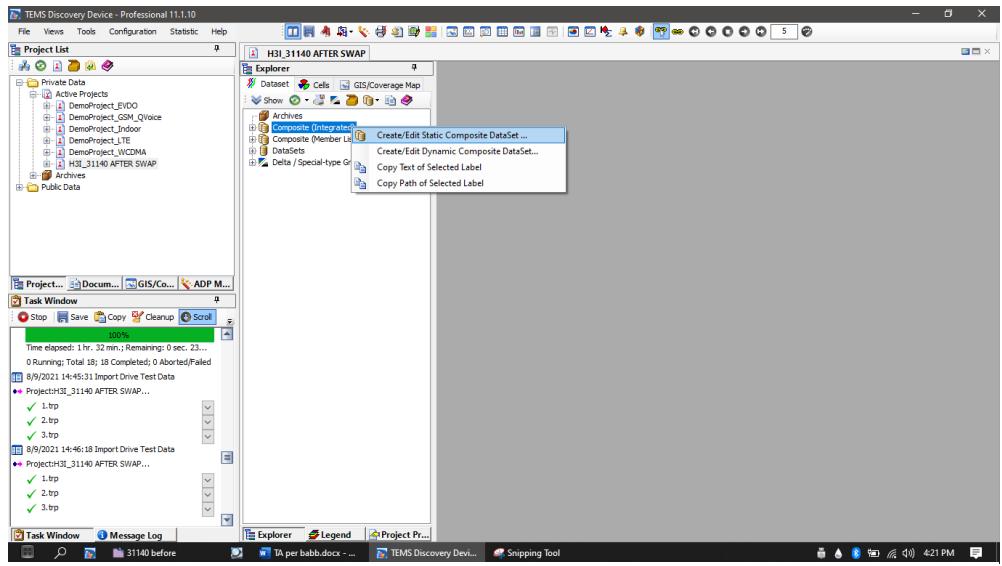
Gambar 3. 39 Proses Import Selesai

- e) Selanjutnya membuat *dataset* untuk membuat parameter yang akan ditampilkan dengan cara mengklik kanan *file project* > *open project* seperti gambar 3.40 berikut.



Gambar 3. 40 Membuat Dataset Project

- f) Kemudian akan muncul tampilan *menu explorer*. Kemudian mengklik kanan pada bagian *composite* > *create/edit composite dataset* seperti gambar 3.41 berikut.



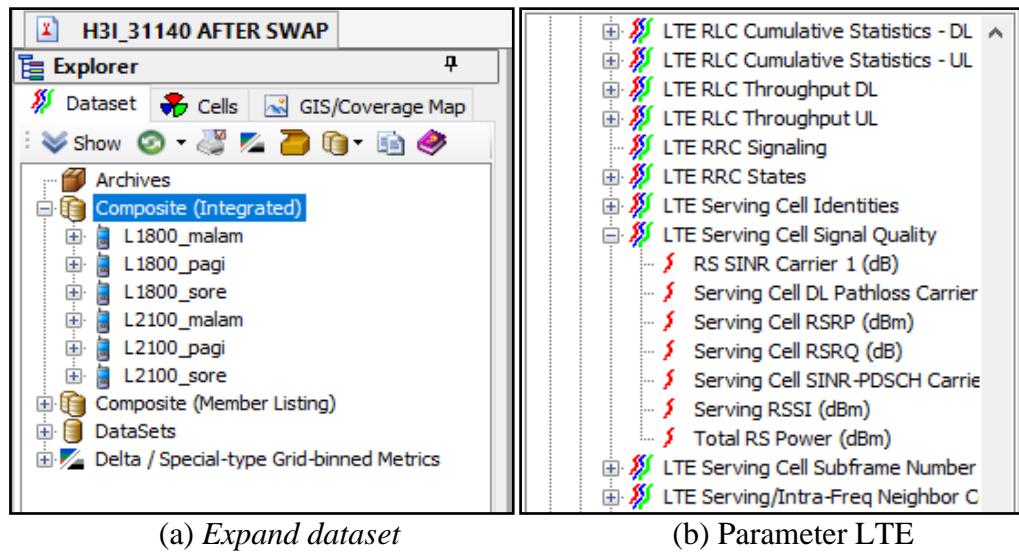
Gambar 3. 41 *Create Edit Composite*

- g) Kemudian memindahkan data *logfile* yang berada di menu *by drag & Drop* ke bagian *members of group* seperti pada gambar 3.42 berikut.

Create/Edit Static Composite DataSet		
Members of group:		
	Dataset	File/Device
1	L1800_malam	1_EQ2
2	L1800_malam	2_EQ2
3	L1800_malam	3_EQ2

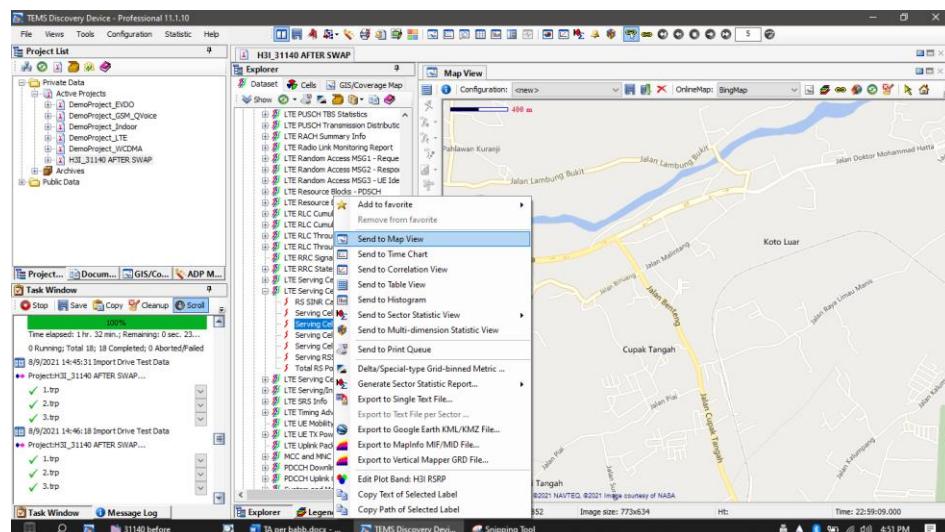
Gambar 3. 42 Memindahkan Data Logfile ke Dataset Project

- h) Selanjutnya mengklik save dan kemudian mengklik ikon close untuk mengeluarkan menu *create/edit composite dataset*.
- i) Selanjutnya melakukan *expand* pada *composite file* > menampilkan parameter 4G LTE dengan memilih *LTE Serving Cell Signal Quality*, seperti pada gambar 3.43 secara berturut-turut berikut ini.



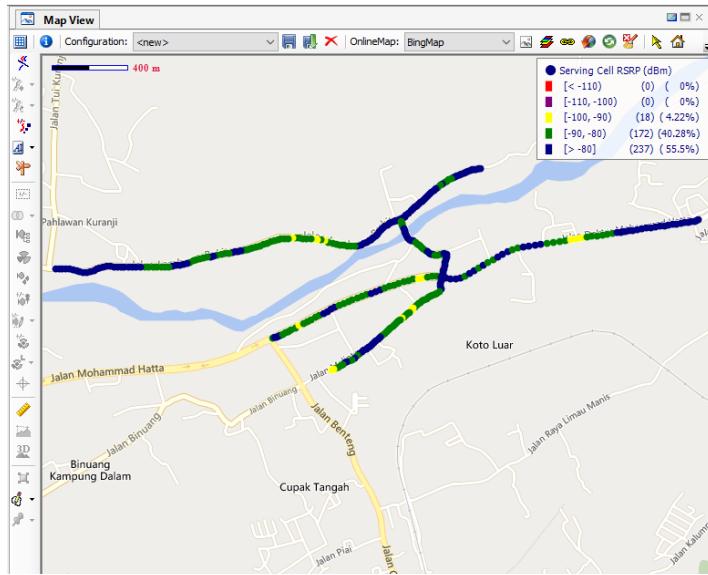
Gambar 3. 43 Composite File

- j) Pada gambar 3.43 terlihat parameter-parameter LTE yang diambil. Selanjutnya untuk menampilkan hasil dari parameter tersebut dilakukan dengan cara mengklik kanan pada bagian parameter yang akan ditampilkan, kemudian memilih *send to map view* untuk melihat jalur hasil *drive test* beserta rentang nilai kualitas sinyal. Adapun langkahnya seperti gambar 3.44 berikut.



Gambar 3. 44 Menampilkan Hasil Plotting Drive Test

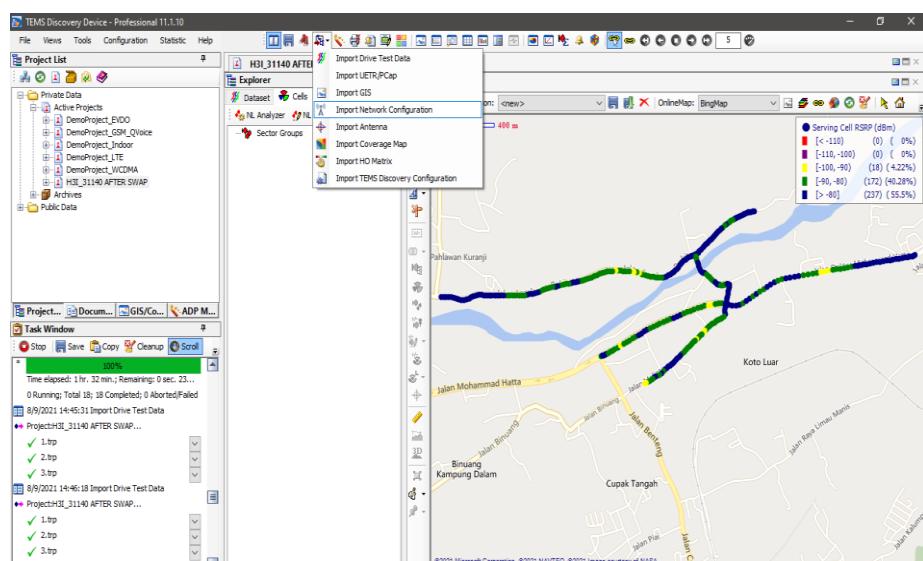
- k) Kemudian akan tampil semua parameter di tampilan *window map view*, seperti gambar 3.45 berikut yaitu tampilan dari parameter RSRP.



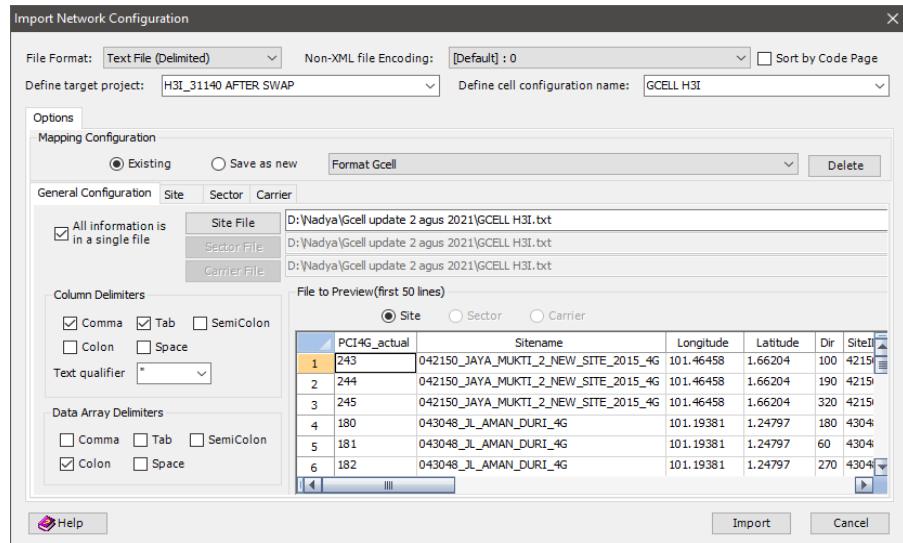
Gambar 3. 45 Tampilan hasil *plotting drive test*

- 1) Selanjutnya masukkan *gcell* yang berfungsi untuk melihat posisi *sector* dari *site*.

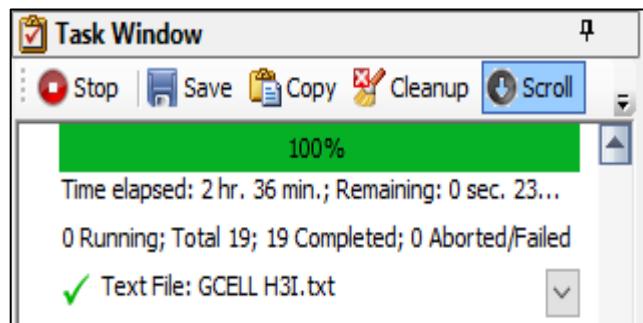
Adapun langkah-langkah untuk memasukkan *gcell* adalah seperti gambar 3.46 berikut.



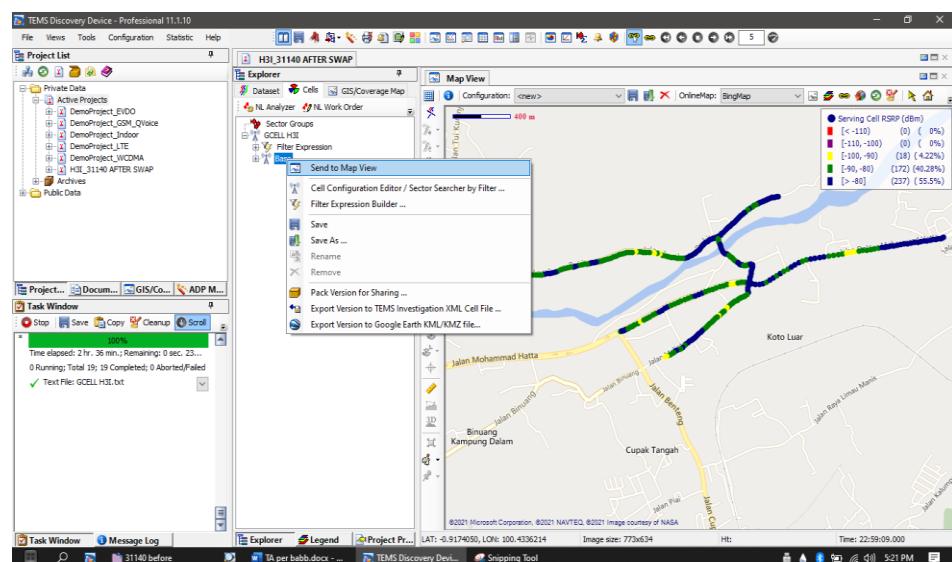
a. Import *gcell*



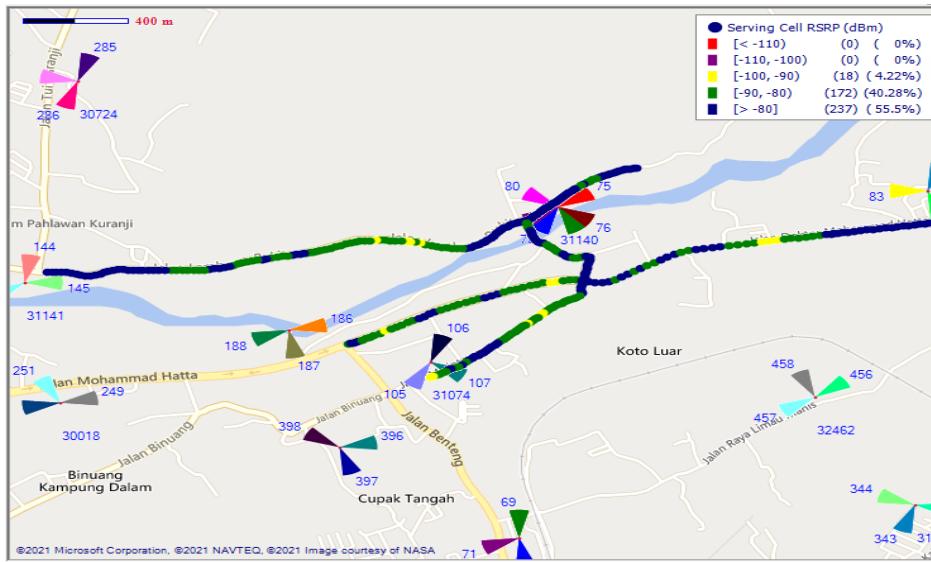
(b) Create gcellname



(c) Proses import gcell



(d) Menampilkan gcell di map view

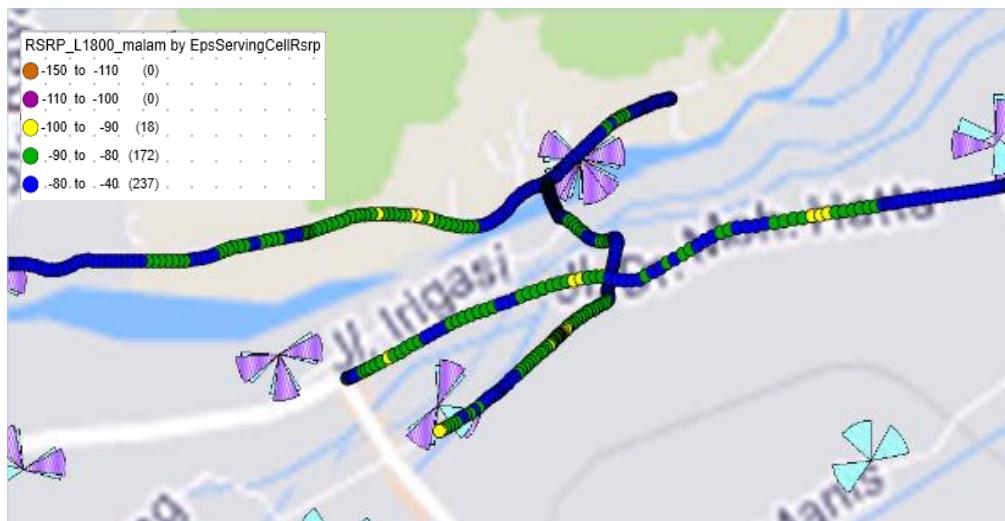


(e) Tampilan *gcell* di *map view*

Gambar 3. 46 Proses *import gcell*

m) Hasil *plotting logfile* ini juga bisa dilihat di *MapInfo* dengan cara mengekspor

ke aplikasi *MapInfo* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.47 berikut.



Gambar 3. 47 Tampilan *Plotting Logfile* di *MapInfo*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Data KPI *Before Swap*

Berdasarkan hasil kalkulasi perhitungan dari persamaan 2.26 sampai persamaan 2.31 pada lampiran 3 didapatkan nilai parameter KPI statistik *before swap* yang digunakan dibawah nilai ambang batas (*threshold*) yang ditetapkan oleh H3I. Secara umum perhitungan nilai data statistik tersebut dilihat dari banyaknya *user* atau *equiment active* yang mengakses jaringan dalam waktu bersamaan yang dimonitoring secara *daily*, yaitu dari tanggal 2 Januari 2021 – 14 Februari 2021. Berikut merupakan hasil kalkulasi nilai parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 KPI Statistik *Before Swap* (KPI Statistik H3I, 2021)

Parameter	Nilai	Keterangan
RRC CSSR	90,07%	Not Pass
E-RAB SSR	90,03%	Not Pass
E-RAB DR	0,5%	Not Pass
<i>Throughput Download</i>	5.325 kbps	Not Pass
Intra eNB HO SR	90,15%	Not Pass
Inter eNB HO SR	90,24%	Not Pass
<i>Traffic</i>	102,07 GB	Not Pass

4.2 Hasil Data KPI *After Swap*

Setelah dilakukan proses *swap*, baik itu instalasi maupun optimasi dan dinyatakan *on air* barulah kinerja dari suatu *site* dapat diukur. Hal inilah yang terjadi pada *site* 31140_Lubuk Bukit yang telah dinyatakan *on air* (OA) pada tanggal 16

Februari 2021. Untuk data *after swap* dilakukan pengukuran statistik pada tanggal 6 Juni 2021 dan monitoring data statistik di bulan Juni 2021.

4.3.1 Data KPI Statistik

Jika dibandingkan dengan data KPI statistik *before swap*, data KPI statistik *after swap* mengalami peningkatan, dimana peningkatan yang terjadi telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) yang ditetapkan H3I. Berdasarkan hasil kalkulasi perhitungan dari persamaan 2.26 sampai persamaan 2.31 pada lampiran 4 didapatkan nilai parameter KPI statistik *after swap* dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 KPI Statistik *After Swap*

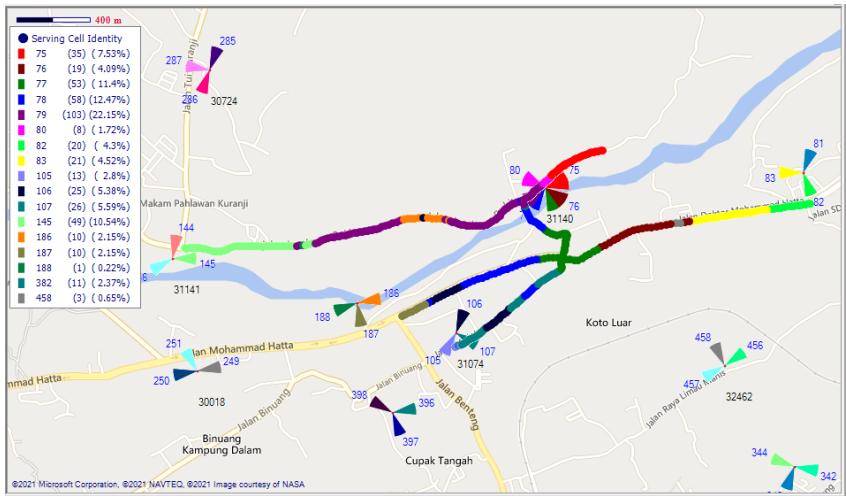
Parameter	Nilai	Keterangan
RRC CSSR	99,83%	Pass
E-RAB SSR	99,87%	Pass
E-RAB DR	0,21%	Pass
<i>Throughput Download</i>	71.041 kbps	Pass
Intra eNB HO SR	99,18%	Pass
Inter eNB HO SR	97,43%	Not Pass
<i>Traffic</i>	51,58 GB	Pass

4.3.2 Data KPI *Drive Test*

1. Drive Test L1800

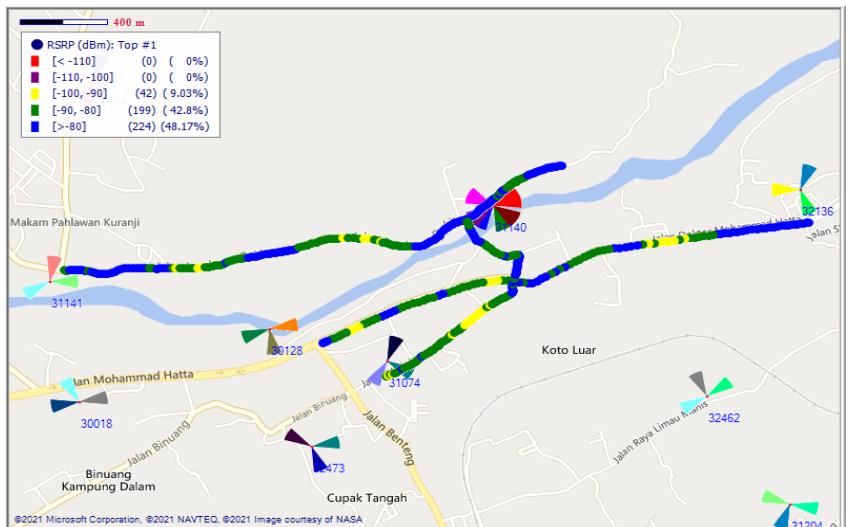
a) *Physical Cell Identity* (PCI)

Gambar 4.1 berikut merupakan tampilan dari *Physical Cell Identity* (PCI) *after swap*, dimana pada site 31140_Lubuk Bukit memiliki 6 sektor dengan nomor PCI 75 (sektor 1; **merah**), 76 (sektor 2; **merah hati**) dan 77 (sektor 3; **hijau**), 78 (sektor 4; **biru**), 79 (sektor 5; **ungu**) dan 80 (sektor 6; **nila**).



Gambar 4. 1 Tampilan PCI L1800

b) *Reference Signal Received Power (RSRP)*



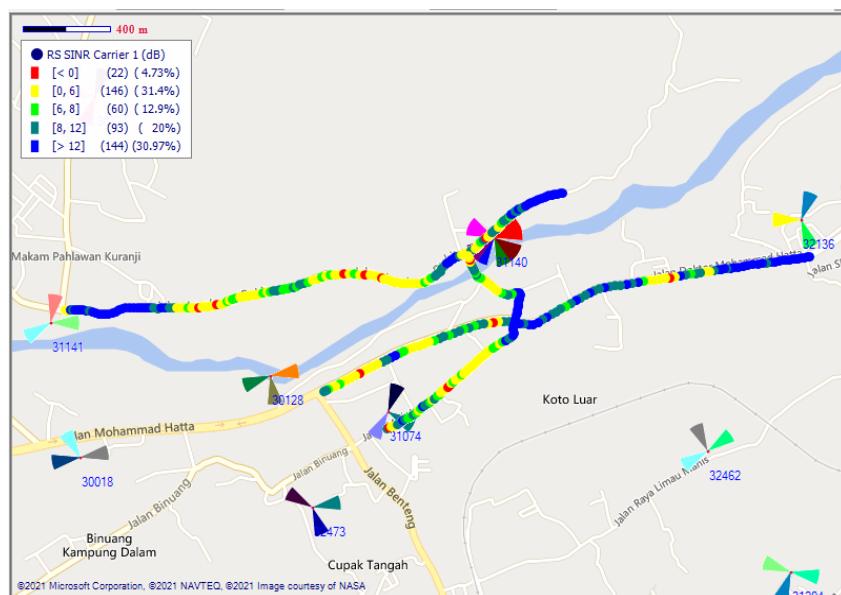
Gambar 4. 2 Tampilan RSRP L1800

Pada gambar 4.2 tampak level daya terima operator Tri berdasarkan parameter KPI memiliki kualitas yang sangat bagus karena didominasi oleh indikator *blue*. Hal ini juga dapat dilihat pada bagian *legend* dengan jumlah sampel 465 sampel data diketahui persentase nilai RSRP pada wilayah tersebut untuk *range* -80 dBm hingga -40 dBm (*excellent*) memiliki persentase 48,17%, *range* -90 dBm hingga -80 dBm (*good*) memiliki persentase 42,8%, *range* -100 dBm hingga -90 dBm (*poor*) memiliki

persentase 9,03%, *range* -110 dBm hingga -100 dBm (**low**) memiliki persentase 0%, *range* -150 dBm hingga -110 dBm (**bad**) memiliki persentase 0%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai RSRP pada wilayah tersebut termasuk dalam kategori **excellent (sangat bagus)** dengan *range* -80 dBm hingga -40 dBm.

c) Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

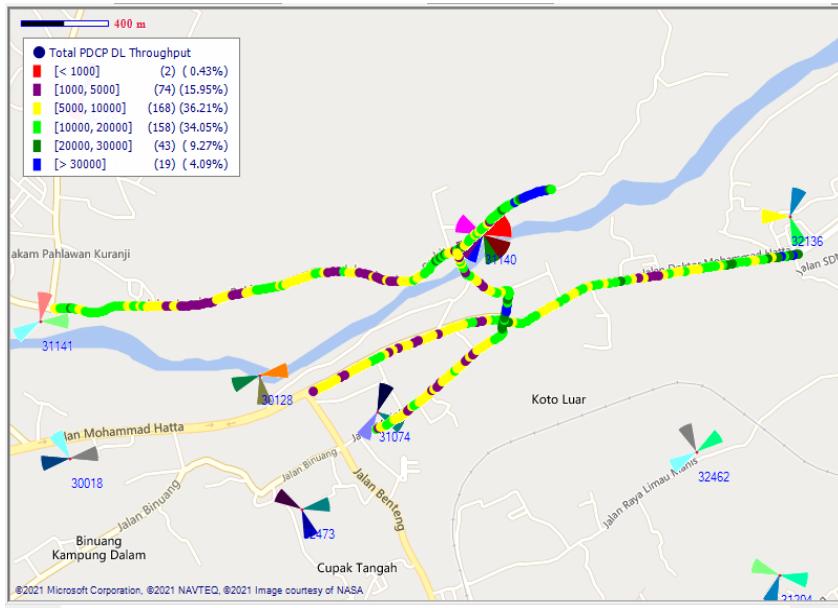


Gambar 4. 3 Tampilan SINR L1800

Pada gambar 4.3 tampak kualitas jaringan operator Tri yang sangat bagus karena didominasi oleh indikator *blue*. Jika dilihat dari persentase, nilai SINR pada wilayah tersebut untuk *range* 12 dB hingga 30 dB (**excellent**) memiliki persentase 30,97%, *range* 8 dB hingga 12 dB (**good**) memiliki persentase 20%, *range* 6 dB hingga 8 dB (**poor**) memiliki persentase 12,9%, *range* 0 dB hingga 6 dB (**low**) memiliki persentase 31,4%, dan *range* -20 dB hingga 0 dB (**bad**) memiliki persentase 4,73%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai RSRP pada wilayah tersebut termasuk dalam kategori ***low (cukup buruk)*** dengan *range* 0 dB hingga 6 dB.

d) Throughput Download



Gambar 4. 4 Tampilan *Throughput Download* L1800

Pada gambar 4.4 tampak kecepatan *download* operator Tri berdasarkan parameter KPI dengan nilai persentase untuk *range* 30.000 kbps hingga 80.000 kbps (**excellent**) memiliki persentase 4,09%, *range* 20.000 kbps hingga 30.000 kbps (**good**) memiliki persentase 9,27%, *range* 10.000 kbps hingga 20.000 kbps (**poor**) memiliki persentase 34,05%, *range* 5.000 kbps hingga 10.000 kbps (**low**) memiliki persentase 36,21%, *range* 1.000 kbps hingga 5.000 kbps (**very low**) memiliki persentase 15,95% dan 0 kbps hingga 1.000 kbps (**bad**) memiliki persentase 0,43%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai *throughput download* pada wilayah tersebut termasuk

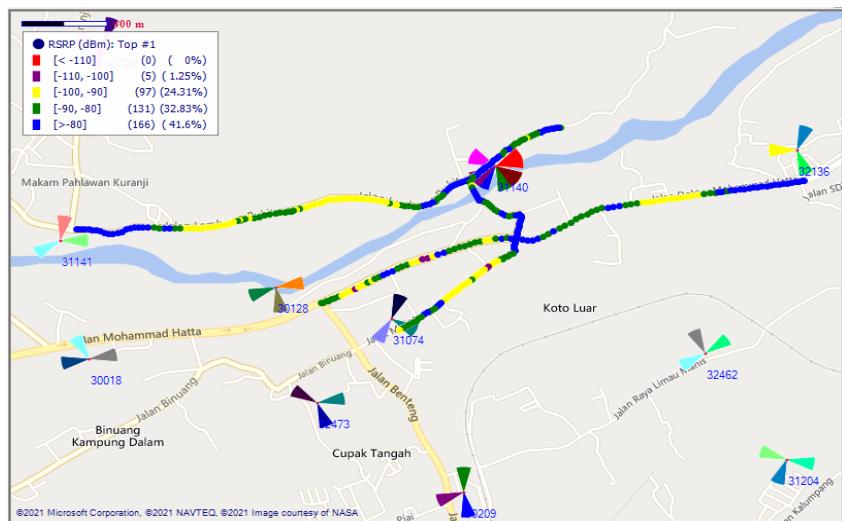
dalam kategori ***low*** (**cukup buruk**) dengan *range* 5.000 kbps hingga 10.000 kbps.

2. Drive Test L2100

a) *Physical Cell Identity (PCI)*

Untuk *Physical Cell Identity (PCI)* *after swap* jaringan LTE L1800 dengan L2100 sama-sama memiliki 6 sektor pada *site* 31140_Lubuk Bukit dengan nomor PCI 75 (sektor 1; **merah**), 76 (sektor 2; **merah hati**) dan 77 (sektor 3; **hijau**), 78 (sektor 4; **biru**), 79 (sektor 5; **ungu**) dan 80 (sektor 6; **nila**).

b) *Reference Signal Received Power (RSRP)*



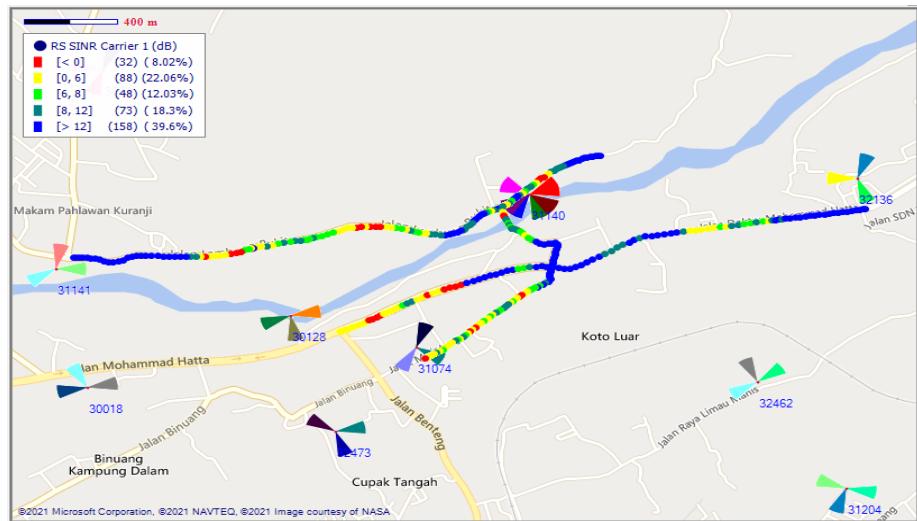
Gambar 4. 5 Tampilan RSRP L2100

Pada gambar 4.5 berikut tampak level daya terima operator Tri pada jaringan LTE 2100 MHz memiliki kualitas yang sangat bagus karena didominasi oleh indikator *blue*. Hal ini juga dapat dilihat pada bagian *legend* dengan jumlah sampel 465 sampel data diketahui persentase nilai RSRP pada wilayah tersebut untuk *range* -80 dBm hingga -40 dBm (**excellent**) memiliki persentase 41,6%, *range* -90 dBm hingga -80 dBm (**good**) memiliki

persentase 32,83%, *range* -100 dBm hingga -90 dBm (**poor**) memiliki persentase 24,31%, *range* -110 dBm hingga -100 dBm (**low**) memiliki persentase 1,25%, *range* -150 dBm hingga -110 dBm (**bad**) memiliki persentase 0%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai RSRP pada wilayah tersebut termasuk dalam kategori **excellent (sangat bagus)** dengan *range* -80 dBm hingga -40 dBm.

c) Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

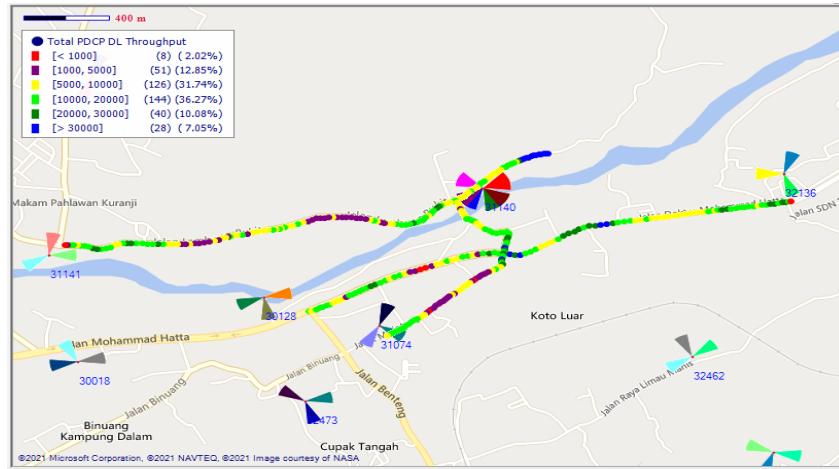


Gambar 4. 6 Tampilan SINR L2100

Pada gambar 4.6 tampak kualitas jaringan operator Tri yang sangat bagus karena didominasi oleh indikator *blue*. Jika dilihat dari persentase, nilai SINR pada wilayah tersebut untuk *range* -12 dB hingga 30 dB (**excellent**) memiliki persentase 39,6%, *range* 8 dB hingga 12 dB (**good**) memiliki persentase 18,3%, *range* 6 dB hingga 8 dB (**poor**) memiliki persentase 12,03%, *range* 0 dB hingga 6 dB (**low**) memiliki persentase 22,06%, dan *range* -20 dB hingga 0 dB (**bad**) memiliki persentase 8,02%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai RSRP pada wilayah tersebut termasuk dalam kategori ***excellent (sangat bagus)*** dengan *range* >12

d) *Throughput Download*



Gambar 4. 7 Tampilan *Throughput Download* L2100
(*after*)

Pada gambar 4.7 tampak kecepatan *download* operator Tri berdasarkan parameter KPI dengan nilai persentase untuk *range* 30.000 kbps hingga 80.000 kbps (***excellent***) memiliki persentase 7,05%, *range* 20.000 kbps hingga 30.000 kbps (***good***) memiliki persentase 10,08%, *range* 10.000 kbps hingga 20.000 kbps (***poor***) memiliki persentase 36,27%, *range* 5.000 kbps hingga 10.000 kbps (***low***) memiliki persentase 31,74%, *range* -.000 kbps hingga 5.000 kbps (***very low***) memiliki persentase 12,85% dan 0 kbps hingga 1.000 kbps (***bad***) memiliki persentase 2,02%.

Oleh karena itu berdasarkan nilai persentase terhadap jumlah sampel dapat diketahui nilai *throughput download* pada wilayah tersebut termasuk dalam kategori ***poor (cukup bagus)*** dengan *range* 10.000 kbps hingga 20.000 kbps.

4.3 Hasil Perhitungan Model Propagasi

Perhitungan pada model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) meliputi perhitungan nilai *loss* propagasi dan *receive power*. Berdasarkan hasil kalkulasi perhitungan dari persamaan 2.10 hingga persamaan 2.12 (COST-231) dan persamaan 2.21 hingga persamaan 2.25 didapatkan nilai *loss* propagasi dan *receive power* pada kedua model propagasi adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Perhitungan Model Propagasi COST-231

Site - MS	f_c (MHz)	d (km)	Loss Propagasi Model COST - 231 (dB)		Recieve Power Model Propagasi COST-231 (dBm)	
			Lu	Lsu/Lr	Prx (u)	Prx (su/r)
Site – MS1	1800	0,217	112,34	112,55	-48,64	-48,85
Site – MS2	1800	0,174	108,94	109,15	-45,24	-45,45
Site – MS3	1800	0,275	115,93	116,13	-52,23	-52,43
Site – MS4	1800	0,613	128,09	128,29	-64,39	-64,59
Site – MS5	1800	0,498	124,94	125,14	-61,24	-61,44
Rata-rata			118,05	118,25	-54,35	-54,55

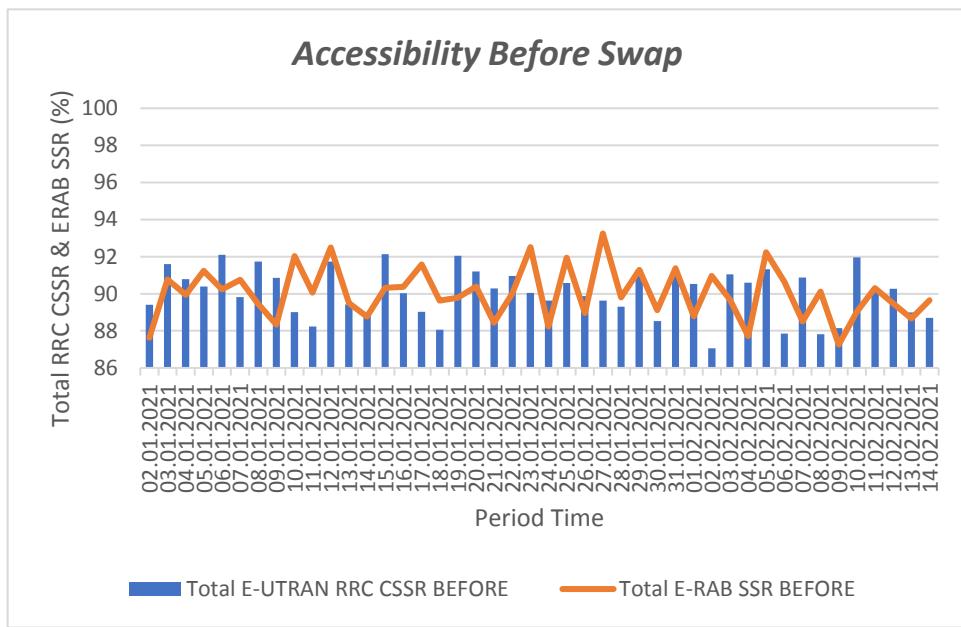
Tabel 4. 4 Perhitungan Model Propagasi SUI

Site - MS	f_c (MH z)	d (km)	Loss Propagasi Model SUI (dB)			Recieve Power Model Propagasi SUI (dBm)		
			Lu	Lsu	Lr	Prx (u)	Prx (su)	Prx (ru)
Site – MS1	2100	133	129,54	127,81	155,03	-65,34	-63,61	-90,83
Site – MS2	2100	195	137,42	134,98	161,76	-73,22	-70,78	-97,56
Site – MS3	2100	396	152,01	148,24	174,23	-87,81	-84,04	-110,03
Site – MS4	2100	659	162,50	157,78	183,19	-98,30	-93,58	-118,99
Site – MS5	2100	728	164,55	159,65	184,94	-100,35	-95,45	-120,74
Rata-rata			149,20	145,69	171,83	-85,00	-81,49	-107,63

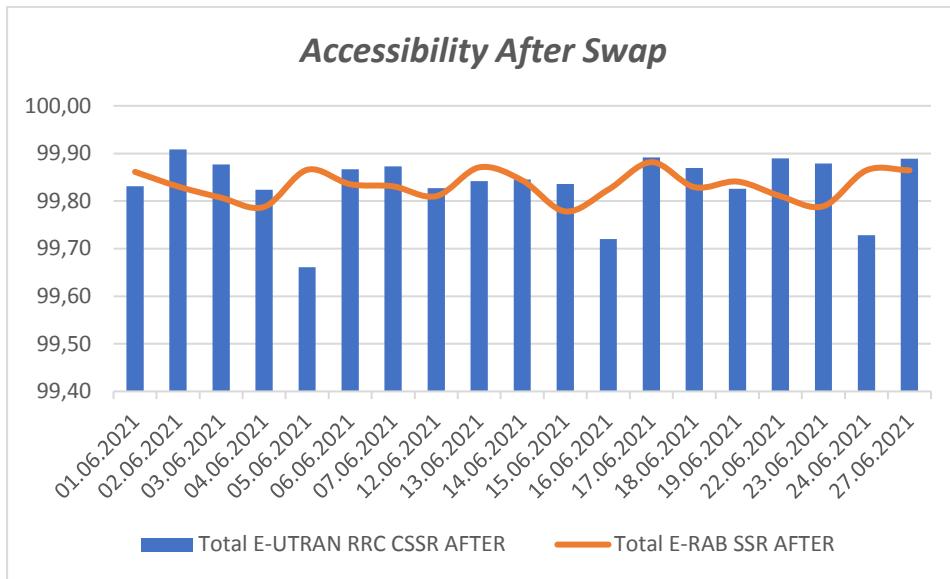
4.4 Perbandingan Data KPI Before dan After Swap

4.4.1 Perbandingan Parameter Accessibility

Accessibility merupakan kemampuan *user* untuk memperoleh layanan sesuai dengan layanan yang disediakan oleh pihak *provider*. Berkaitan dengan *user* maka parameter ini erat kaitannya dengan kapasitas jaringan yang disediakan oleh eNB terhadap *user*. Parameter yang mengukur tingkat akses *user* adalah *Radio Resource Control Connection Setup Success Rate* (RRC CSSR) dan *E-UTRAN Radio Access Bearer Setup Success Rate* (E-RAB SSR). Adapun perbandingan data *before* dan *after swap* pada kedua parameter ini dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9 berikut.



Gambar 4. 8 Grafik Accessibility Before Swap



Gambar 4. 9 Grafik *Accessibility After Swap*

Berdasarkan hasil perbandingan data diatas diketahui parameter *accessibility* dalam hal kapasitas terjadi peningkatan. Ini terlihat pada saat *before swap* rata-rata total persentase jumlah eNodeB yang menerima RRC *connection request* dari UE adalah 90,07% dan untuk *ratio* tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan adalah sebesar 90,03%. Sedangkan pada saat *after swap*, terjadi *increase* (peningkatan) jumlah eNodeB yang menerima RRC *connection request* dari UE adalah 99,81% dan untuk *ratio* tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan adalah sebesar 99,84%. Diketahui setelah dilakukan optimasi dengan metode *swap* terjadi peningkatan sebesar 9,74% untuk parameter RRC CSSR dan 9,81% untuk parameter E-RAB SSR. Dimana nilai yang didapatkan setelah *swap* telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) KPI LTE yaitu 99%.

Hal penunjang lainnya dalam peningkatan *accessibility* ini adalah kapasitas jaringan yang tersedia. Diketahui dari monitoring melalui *web element manager*, yaitu sebuah *website* yang digunakan oleh PT. Citius Solusi Indonesia, dengan

vendor Nokia terjadi perbandingan kapasitas jaringan *before* dan *after swap* seperti pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4. 5 Perbandingan Kapasitas *UEs Active Before dan After Swap* (Nokia, 2020)

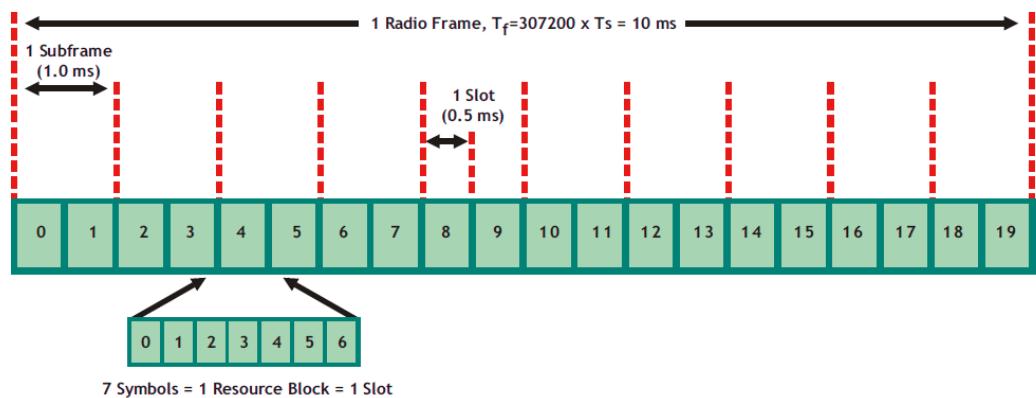
Data Perbandingan	Konfigurasi Antena
Max. Number of Active UEs (324 UEs)	2/2/2
	4/4/4

Dari tabel diatas diketahui perbedaan konfigurasi antena *before* dan *after swap*. Pada antena *before* memiliki konfigurasi antena 2/2/2, maksudnya konfigurasi 1 *site*, terdiri dari 3 sektor (*cell*) dan dimana masing-masing sektor memiliki 2 kanal RF. Sedangkan pada *after swap* antena yang berfungsi untuk memancarkan sinyal memiliki konfigurasi 2 kali lebih besar, yaitu 4/4/4, maksudnya konfigurasi 1 *site*, terdiri dari 3 sektor (*cell*) dan dimana masing-masing sektor memiliki 4 kanal RF. Jadi total kanal RF pada konfigurasi antena 4/4/4 adalah 12 kanal RF.

Teknologi yang digunakan pada jaringan LTE ini adalah teknologi FDD. Pada bingkai (*frame*) radio FDD LTE panjangnya 10 milidetik, dan dibagi menjadi 10 *subframe* per 1 milidetik. Selanjutnya untuk nilai 1 *subframe* bisa dipecah lagi menjadi bagian yang lebih kecil yang dinamakan dengan *slot* yang pada gilirannya dibagi menjadi dua slot 0,5 milidetik. Mengikuti perhitungan ini, setiap bingkai radio memiliki panjang 20 slot, dengan masing-masing slot memiliki panjang 7 simbol, dengan masing-masing simbol memiliki panjang 0,071428 ms. Sehingga dapat dihitung data simbol yang dapat dikirimkan ditampung oleh 1 *subcarrier* adalah:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ subcarrier} &= 7 \times 2 \times 10 = 140 \text{ simbol per frame radio} \\
 &= 140 \text{ simbol} \times (1000 \text{ ms/s} / 10 \text{ ms}) \\
 &= 14.000 \text{ simbol per detik.}
 \end{aligned}$$

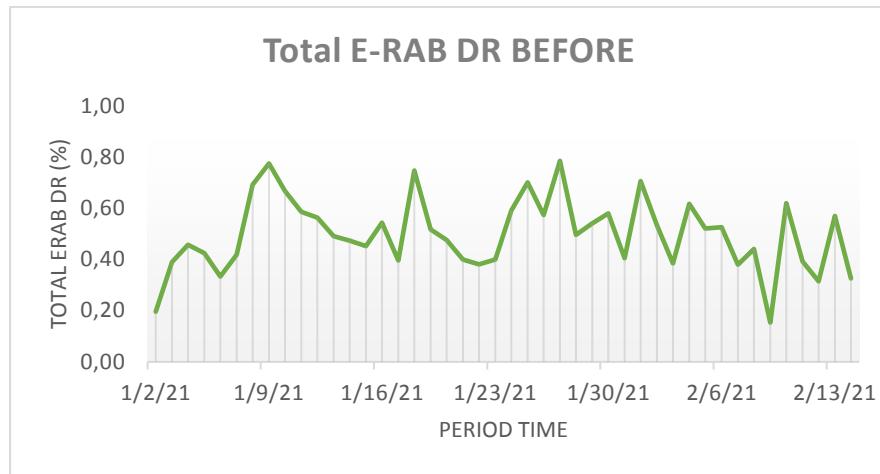
Berikut merupakan analogi 1 *subcarrier* pada kanal radio frekuensi pada gambar



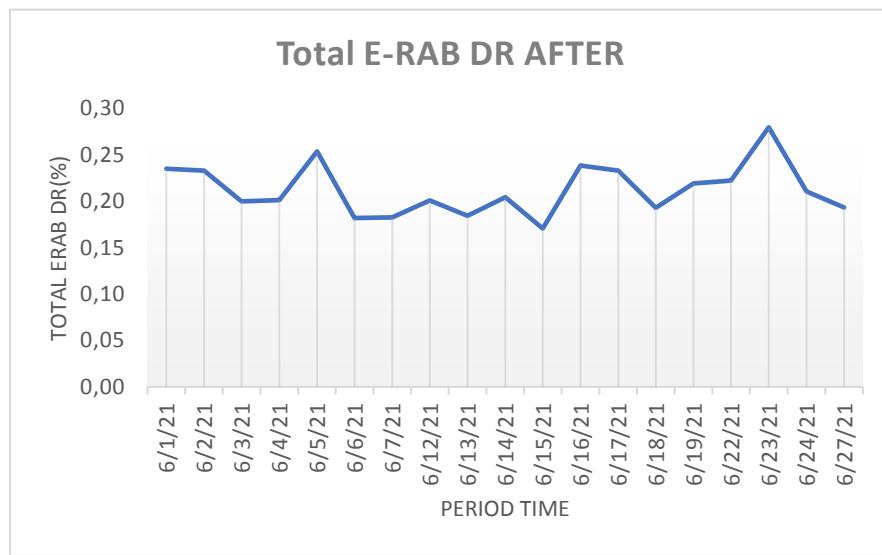
Gambar 4. 10 Radio Frame LTE FDD

4.4.2 Perbandingan Parameter *Retainability*

Retainability adalah kemampuan *user* dan sistem jaringan untuk mempertahankan layanan setelah layanan tersebut berhasil diperoleh sampai batas waktu layanan tersebut dihentikan oleh *user*. Adapun parameter yang dapat mengukur tingkat suatu layanan dapat dipertahankan adalah ERAB *Drop Ratio* yang merupakan *rasio* statistik penurunan tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan, tetapi terputus secara tidak normal karena kegagalan eNB. Adapun perbandingan data *before* dan *after swap* dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12.



Gambar 4. 11 Grafik E-RAB DR *Before*



Gambar 4. 12 Grafik E-RAB DR *After*

Berdasarkan hasil perbandingan data diatas diketahui parameter *retainability* terjadi peningkatan. Ini terlihat pada saat *before swap* rata-rata total rasio statistik penurunan tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan adalah 0,5%, sedangkan pada saat *after swap*, total rasio statistik penurunan tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan adalah 0,21%, dimana untuk L1800 memiliki rata-rata tingkat rasio ERAB DR adalah sebesar 0,25% dan L2100 adalah sebesar 0,18%. Angka yang didapatkan setelah *swap* diketahui sudah

memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) yaitu <0,3% untuk L1800 dan <0,2% untuk L2100.

Tinggi rendahnya rasio penurunan tingkat keberhasilan penyiapan E-RAB untuk semua layanan disebabkan oleh kualitas dan kuat sinyal pada jaringan tersebut, yaitu nilai RSRP atau RSSI untuk kuat sinyal dan SINR untuk kualitas sinyal. Angka yang didapatkan setelah *swap* yang diketahui sudah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) dibuktikan pada kualitas dan kuat sinyal yang dihasilkan setelah dilakukan *drive test after swap* yang ditunjukkan pada gambar 4.1 hingga 4.7 sebelumnya, dimana kualitas dan kuat sinyal pada *site 31140_Lubuk Bukit* setelah dilakukan *swap* telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) pada parameter tersebut. Adapun nilai dari kualitas dan kuat sinyal hasil *drive test* dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. 6 Kuat sinyal dan Kualitas Sinyal *After Swap*

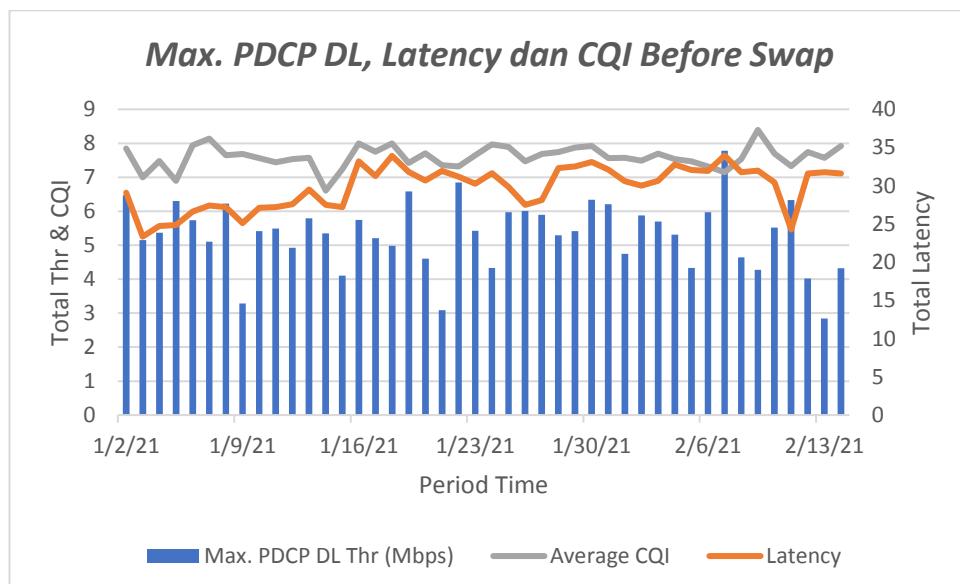
Frekuensi	RSRP (dBm)	SINR (dB)	RSRP (dBm)	SINR (dB)
L1800	-88,4	1,85	-68,2	3,0
L2100	-80	6,2	-70,9	19,1

4.4.3 Perbandingan Parameter *Integrity*

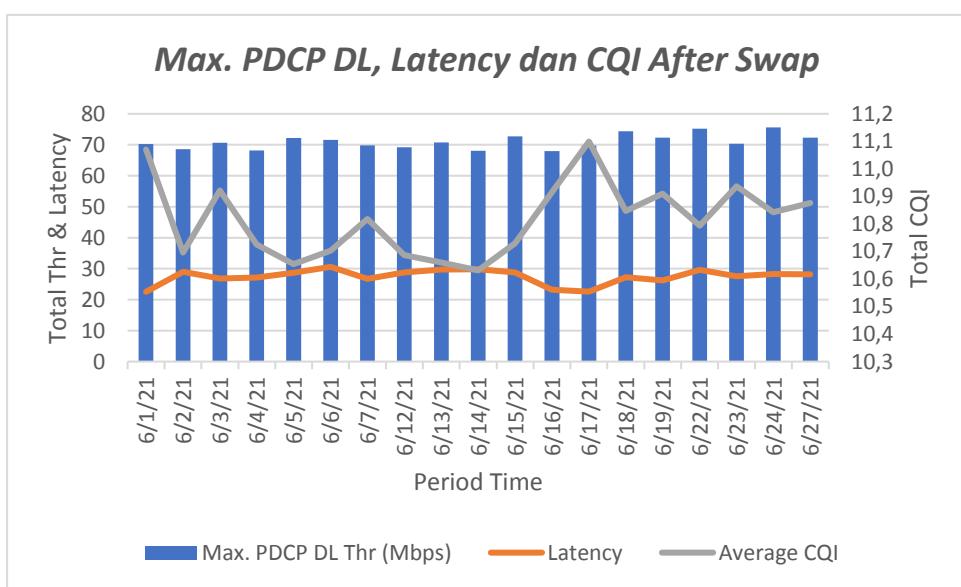
Integrity merupakan kemampuan atau kualitas dari layanan dalam menampung jumlah *user*. Salah satu parameter yang dapat mengukur nilai *integrity* dalam suatu jaringan adalah *throughput*. *Throughput* adalah jumlah data yang ditransfer dalam jumlah waktu tertentu. Dalam hal video, dapat dilacak dengan berapa banyak paket data yang dapat ditransmisikan selama periode tertentu. Sehingga dapat dijelaskan bahwa *throughput* menandai tingkat rata-rata transmisi data yang berhasil dalam pengaturan *streaming*. Parameter ini didukung oleh

parameter *latency* dan CQI, dimana semakin bagus nilai CQI maka semakin bagus pula kualitas *throughput* sedangkan untuk nilai *latency* menunjukkan berapa waktu yang dibutuhkan dalam mengirimkan data yang dihitung dalam mili detik (ms).

Adapun perbandingan throughput, latency dan CQI before dan after swap dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14 berikut.



Gambar 4. 13 Grafik Throughput Download Before Swap



Gambar 4. 14 Grafik Throughput Download After swap

Berdasarkan data grafik diatas terjadi peningkatan data *throughput* di site 31140_Lubuk Bukit. Terlihat pada saat *before swap* nilai *throughput* adalah rentang 2 Mbps hingga 8 Mbps. Sedangkan pada saat *after swap* terjadi lonjakan yang sangat signifikan, yaitu nilai *throughput* mencapai 60 Mbps hingga 75 Mbps. Peningkatan nilai *throughput* diikuti dengan peningaktan nilai CQI dan *Latency*, dimana berdasarkan hasil kalkulasi rata-rata parameter CQI mengalami peningkatan sebesar 3,22% dengan Hal ini membuktikan terjadi perubahan kualitas jaringan sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi.

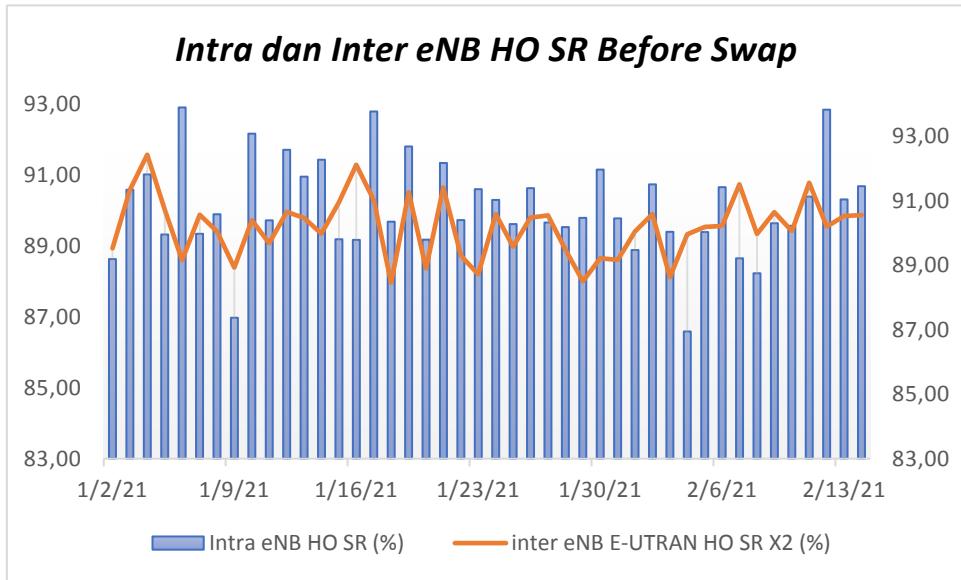
4.4.4 Perbandingan Parameter *Mobility*

Mobility merupakan parameter yang mengukur bagaimana *user* dapat bergerak dengan mudah dari suatu tempat ke tempat lain tanpa terjadi pemutusan hubungan yang dikenal dengan *handover*. Beberapa parameter yang mengukur nilai *mobility* dalam suatu jaringan adalah *Intra eNB Handover Out Success Rate* dan *Inter eNB Handover Out success Rate*. Perbedaan dari kedua parameter ini adalah pada *Intra eNB HO SR* keberhasilan *handover* terjadi antara sel yang berbeda dalam eNB yang sama, sedangkan pada *Inter eNB HO SR* keberhasilan *handover* terjadi antara sel dan eNB yang sama.

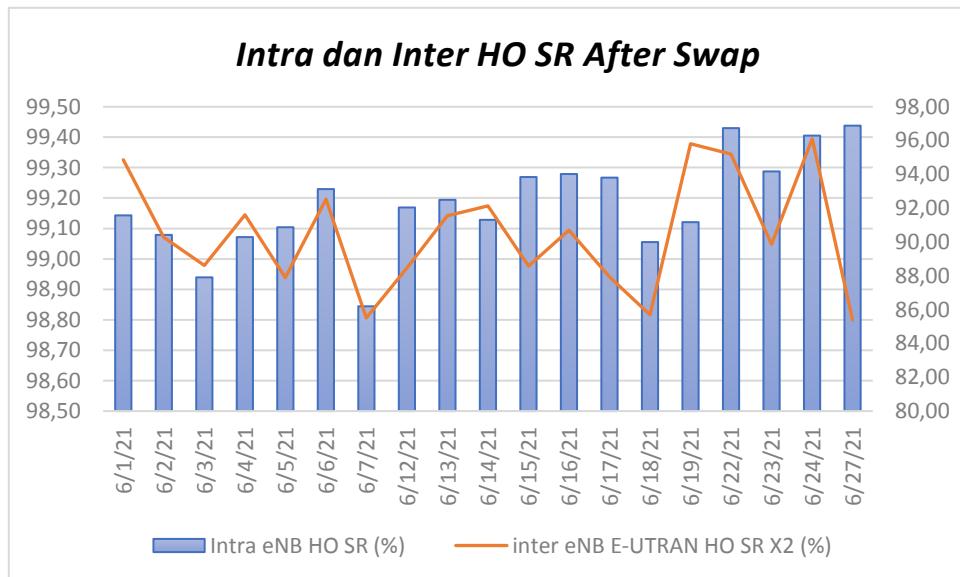
Misalnya pada kasus *Intra eNB HO SR*, pada site 31140_Lubuk Bukit *after swap* diketahui ada 6 sel yang melayani *user*, pada saat *user* menggunakan jaringan terjadi perpindahan kanal dari sel 2 ke sel 3 tetapi masih dalam ENB yang sama, yaitu masih berada di eNB 31140_Lubuk Bukit. *Handover* dikatakan sukses jika kualitas dan kuat sinyal antar sel yang terlibat dalam proses *handover* memiliki nilai yang bagus. Sedangkan untuk kasus *Inter eNB HO SR* terjadi perpindahan kanal

antar sel yang sama, maksudnya sel 2 di jaringan LTE 1800 dan sel 2 di LTE 2100, dimana kedua sel tersenut masih berada dalam satu eNB, yaitu 31140_Lubuk Bukit.

Adapun perbandingan nilai kedua parameter tersebut pada saat *before* dan *after swap* dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16 berikut.



Gambar 4. 15 Grafik *Intra* dan *Inter HO SR Before Swap*



Gambar 4. 16 Grafik *Intra* dan *Inter HO SR After Swap*

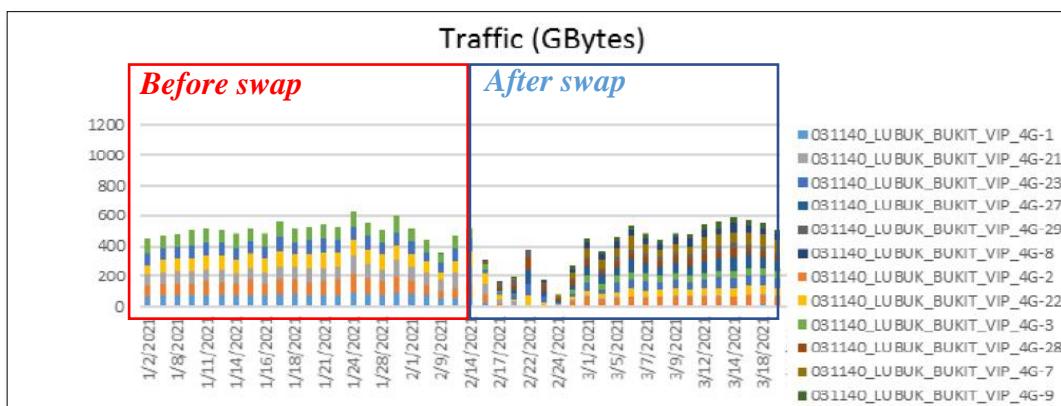
Berdasarkan grafik diatas terlihat perbandingan data *before* dan *after swap* pada parameter *Intra eNB HO SR* dan *Inter eNB HO SR*. Terlihat pada *before swap* persentase nilai kedua parameter berada dalam rentang 80% hingga 94%. Nilai ini jauh dari ambang batas (*threshold*) parameter KPI. Namun setelah dilakukan *swap*, terjadi peningkatan persentase nilai kedua parameter ini, yakni naik ke rentang >98%. Dimana nilai ini telah memenuhi nilai ambang batas parameter KPI. Kesuksesan dalam *handover* baik itu dalam sel yang sama ataupun dalam sel yang berbeda semua nya tergantung kepada nilai kualitas dan kuat sinyal yang ada di tiap-tiap sel.

4.4.5 Perbandingan Parameter *Usage*

Parameter *usage* dilihat dari nilai parameter bagaimana jaringan LTE dimuat. Parameter yang memuat data ini adalah nilai *traffic* yang merupakan jumlah atau banyaknya data yang digunakan oleh *user* selama periode waktu tertentu, baik itu *hourly* maupun *daily*. Adapun fungsi dari monitoring data trafik ini adalah untuk melihat lonjakan setiap pergerakan pemakaian data, apabila terjadi lonjakan yang signifikan maka data ini lah yang akan dijadikan sebagai acuan untuk dilakukannya optimalisasi jaringan.

Diketahui *site* 31140_Lubuk Bukit merupakan salah satu *site* yang diketahui mengalami lonjakan trafik yang signifikan sehingga berdampak buruk terhadap kualitas jaringan di daerah tersebut. Maka dari itu, pada *site* ini dilakukan proses optimalisasi dengan tujuan memperbaiki kualitas jaringan di daerah tersebut. Adapun metode yang digunakan untuk optimalisasi adalah metode *swap* (pergantian) perangkat.

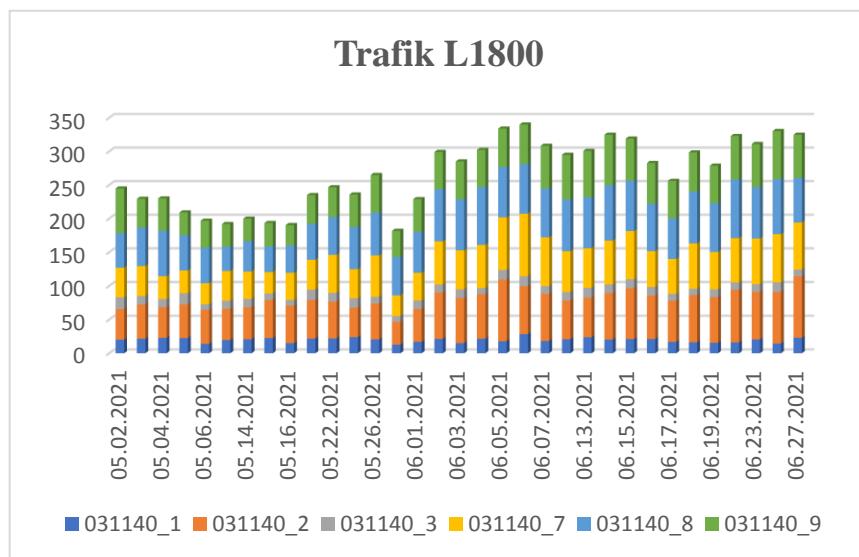
Berikut gambar 4.17 merupakan data perbandingan data trafik sebelum dan sesudah dilakukannya proses optimalisasi dengan metode *swap*. Terlihat pada saat *before swap* rata-rata trafik yang terjadi adalah 102,23 GB/sektor dengan trafik tertinggi pada tanggal 24 Januari 2021 yaitu mencapai 620 GB/hari. Adapun jumlah sektor yang melayani berjumlah 3 sektor dengan konfigurasi 2/2/2, sehingga ada total 6 kanal RF untuk LTE 1800 dan LTE 2100. Kemudian setelah dilakukan optimalisasi jaringan pada tanggal 16 Februari 2021, terlihat trafik jaringan menurun secara signifikan, yang mana pada tanggal 14 Februari 2021 (2 hari sebelum dilakukan *swap*) trafiknya berkisar 500 GB, kemudian mengalami penurunan trafik pada tanggal 17 Februari 2021 (1 hari setelah dilakukan *swap*) yaitu menjadi 300 GB (dengan trafik per sektor nya 25 GB). Adapun jumlah sektor yang melayani *user* dalam mengkases jaringan berjumlah 3 sektor dengan konfigurasi 4/4/4, sehingga ada total 12 kanal RF untuk LTE 1800 dan LTE 2100.



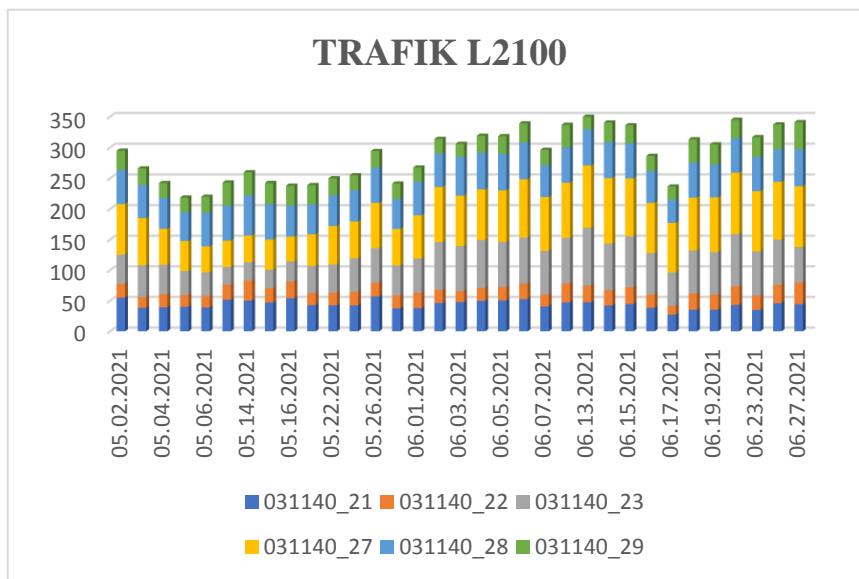
Gambar 4. 17 Data Trafik *Before* dan *After Swap*

Namun dari monitoring trafik diatas dapat dilihat masih terdapat lonjakan trafik setelah dilakukannya proses *swap*. Hal ini disebabkan terjadinya *troubleshooting* pada perangkat *base station* yang terpasang. *Trouble* yang terjadi diakibatkan oleh perangkat modul AMOB yang *faulty* sehingga harus digantike

perangkat baru, yaitu modul AMOD mengakibatkan *issue performance degrade* pada *site* 31140_Lubuk Bukit. Setelah dilakukan pergantian perangkat baru, dilakukan monitoring kedua untuk melihat *performance degrade* kembali, berikut gambar 4.18 dan 4.19 merupakan monitoring trafik jaringan setelah dilakukan pergantian perangkat, dimana rata-rata trafik jaringan kurang dari 350 GB per harinya (51,58 GB/sektor)



Gambar 4. 18 Trafik Jaringan LTE 1800 MHz



Gambar 4. 19 Trafik Jaringan LTE 2100 MHz

Pembuktian lainnya, kepadatan atau kenaikan trafik dapat disebakan oleh dua faktor, yaitu memiliki *active user* dan DL PRB yang tinggi. Seperti yanh dijelaskan diatas, setelah dilakukan optimasi terjadi penurunan data trafik, hal ini disebabkan oleh ada penambahan *capacity*. Hal ini dapat dihitung dari nilai DL PRB sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi jaringan (*swap*). Pada konfigurasi antena 2/2/2 dengan *bandwidth* 10 MHz didapatkan nilai *Resource Block* sebesar 50 RB dimana untuk masing-masing lebar 12 subcarrier, sehingga total ada 600 subcarrier. Pada konfigurasi 2X2 MIMO total sub operator yang diberikan adalah 1200 sub operator. Oleh karena itu, perhitungan total untuk saluran 10 MHz adalah 5.325 (rata-rata Thr DL) \times 1200 = 6.390.000 b/s = 6,3 Mb/s (dibawah ambang batas). Sedangkan pada kondisi *after swap* yakni menggunakan konfigurasi 4x4 MIMO terjadi peningkatan dua kali lipat, yakni perhitungan total untuk saluran 10 MHz konfiguras 4x4 adalah 12,6 Mb/s (memenuhi nilai ambang batas). Sehingga dapat disimpulkan dari data trafik diatas, terjadi peningkatan nilai *throughput download* dan penurunan nilai trafik yang disebabkan oleh adanya penambahan *capacity* pada konfigurasi antena yang digunakan.

4.4.6 Perbandingan Data Perhitungan dan Pengukuran Hasil Optimasi

Hasil optimasi dapat diketahui melalui perhitungan dengan model ptopgas dan pengukuran dengan metode *drive test*. Data perhitungan dilakukan berdasarkan karakteristik *base station*, *antenna transmitter* dan *antenna receiver* yaitu meliputi frekuensi kerja, tinggi *antenna transmitter* dan *receiver*, *power antenna transmitter*, dan *path length* antara *antenna transmitter* dan *receiver*, sedangkan pada pengukuran secara langsung di lapangan, baik/buruknya nilai loss propagasi dan daya terima tergantung kepada kondisi di lapangan, baik itu disebabkan oleh

banyak atau tingginya *obstacle*, seperti gedung dan pepohonan sehingga dapat menyebabkan terjadinya defraksi, refraksi dan faktor penghambat lainnya dan juga padatnya rumah penduduk juga bisa mempengaruhi nilai daya terima yang akan diterima oleh *user*.

Tabel 4.7 berikut merupakan perbandingan antara hasil nilai rata-rata perhitungan model propagasi pada dua aspek yaitu *loss propagasi* dan *receive power* dengan hasil nilai rata-rata pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa penggunaan model propagasi COST-231 untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendekati hasil pengukuran menggunakan metode *drive test*. Pada hasil pengukuran *drive test* terhadap nilai *loss propagasi* mendapatkan nilai rata-rata sebesar 136,6 dB, dan hasil nilai model propagasi COST-231 untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendapatkan hasil nilai rata-rata 188,25 dB sedangkan untuk hasil nilai model propagasi COST-231 untuk daerah *Urban* mendapatkan hasil 118,05 dB. Oleh sebab itu, model propagasi COST-231 dengan pemilihan daerah *Sub Urban* cocok digunakan pada site 31140_Lubuk Bukit. Hasil ini selaras dengan perbandingan hasil perhitungan parameter *receive power* yang menunjukkan model propagasi COST-231 untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendekati hasil pengukuran *drive test*. Nilai pengukuran *drive test* didapatkan besar daya terima -77,56 dBm, sedangkan untuk perhitungan daya terima *Urban* sebesar -52,45 dB dan daya terima *Sub Urban/Rural* sebesar -52,45 dB.

Tabel 4.7 Perbandingan *Loss Propagasi Model Propagasi COST-231* dan Pengukuran

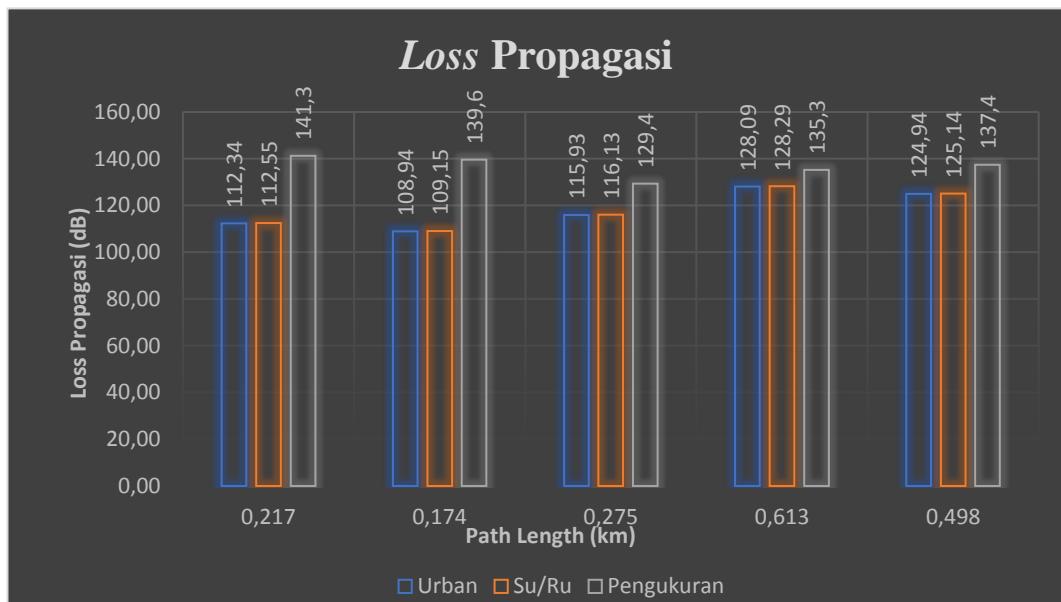
Site - MS	f_c (MHz)	d (km)	Perhitungan Loss Propagasi Model COST -231 (dB)		Pengukuran <i>drive test</i> (dB)
			Urban	Sub Urban/Rural	
Site – MS1	1800	0,217	112,34	112,55	141,3

Site – MS2	1800	0,174	108,94	109,15	139,6
Site – MS3	1800	0,275	115,93	116,13	129,4
Site – MS4	1800	0,613	128,09	128,29	135,3
Site – MS5	1800	0,498	124,94	125,14	137,4
Rata-rata			118,05	118,25	136,6

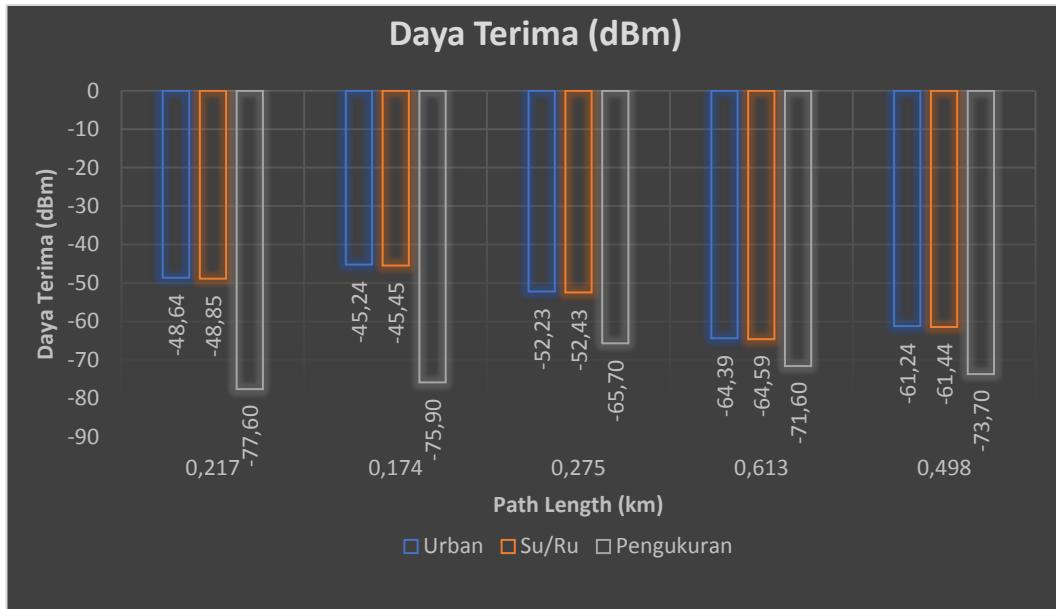
Tabel 4. 8 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran

Site - MS	f_c (MHz)	d (km)	Perhitungan <i>Receive Power</i> Model COST - 231 (dBm)		Pengukuran <i>drive test</i> (dBm)
			Urban	Sub Urban/Rural	
Site – MS1	1800	0,498	-61,24	-61,44	-73,7
Site – MS2	1800	0,375	-56,90	-57,11	-73,7
Site – MS3	1800	0,022	-13,99	-14,19	-71,9
Site – MS4	1800	0,217	-48,64	-48,85	-77,6
Site – MS5	1800	0,441	-59,38	-59,58	-82,0
Rata-rata			-52,25	-52,45	-77,56

Perbandingan kedua parameter ini dapat dilihat pada gambar grafik 4.20 dan 4.21 berikut.



Gambar 4. 20 Perbandingan *Loss Propagasi* Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran



Gambar 4. 21 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi COST-231 dan Pengukuran

Pembuktian lainnya adalah kondisi wilayah pada *site* 31140_Lubuk Bukit berada di wilayah yang terdapat perbukitan sehingga banyak pepohonan, beberapa gedung tinggi seperti kos-kosan dan merupakan daerah yang termasuk ke dalam wilayah yang padat penduduk, dimana keadaan tersebut sesuai dengan deskripsi daerah *sub urban* pada bagian 2.2.5 mengenai klasifikasi daerah. Kondisi *site* dengan cakupan wilayah yang demikian dapat dilihat pada lampiran 2.

Selanjutnya untuk frekuensi kerja 2100 MHz dilakukan perbandingan perhitungan model propagasi *Standford University Interim* (SUI) terhadap hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4. 9 Perbandingan *Loss* Propagasi Model Propagasi SUI dan Pengukuran

Site - MS	f_c (MHz)	d (m)	Perhitungan Loss Propagasi Model SUI (dB)			Pengukuran <i>drive test</i> (dB)
			Urban	Sub Urban	Rural	
Site – MS6	2100	133	129,54	127,81	155,03	146,70
Site – MS7	2100	195	137,42	134,98	161,76	140,20
Site – MS8	2100	396	152,01	148,24	174,23	143,10

Site – MS9	2100	659	162,50	157,78	183,19	145,30
Site – MS10	2100	728	164,55	159,65	184,94	155,90
Rata-rata			149,20	145,69	171,83	146,24

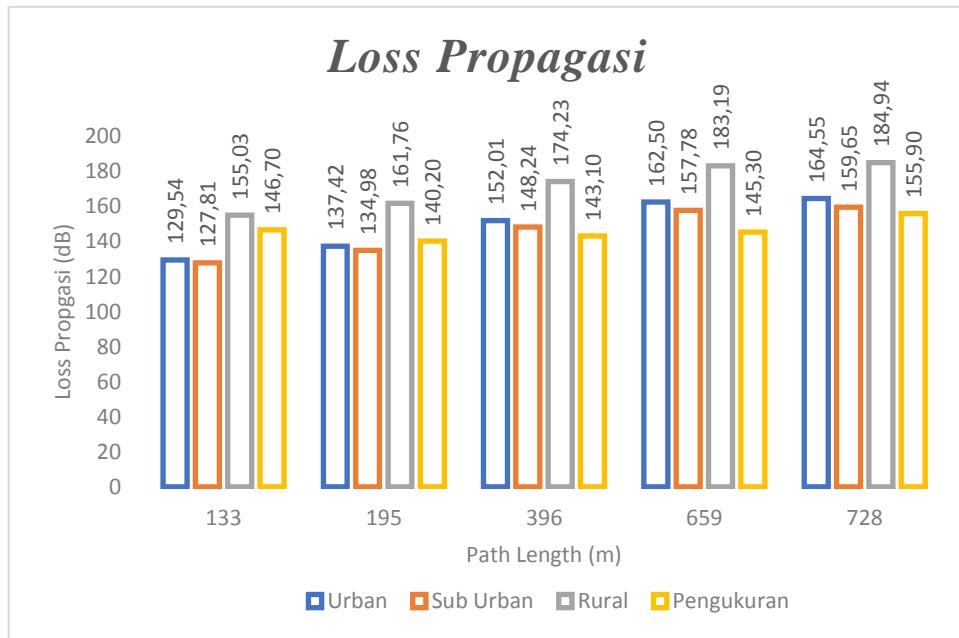
Tabel 4. 10 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi SUI dan Pengukuran

Site - MS	f_c (MHz)	d (m)	Perhitungan <i>Receive Power</i> Model SUI (dBm)			Pengukuran <i>drive test</i> (dBm)
			Urban	Sub Urban	Rural	
Site – MS6	2100	133	-65,34	-63,61	-90,83	-82,50
Site – MS7	2100	195	-73,22	-70,78	-97,56	-76,00
Site – MS8	2100	396	-87,81	-84,04	-110,03	-78,90
Site – MS9	2100	659	-98,30	-93,58	-118,99	-81,10
Site – MS10	2100	728	-100,35	-95,45	-120,74	-91,70
Rata-rata			-85,00	-81,49	-107,63	-82,04

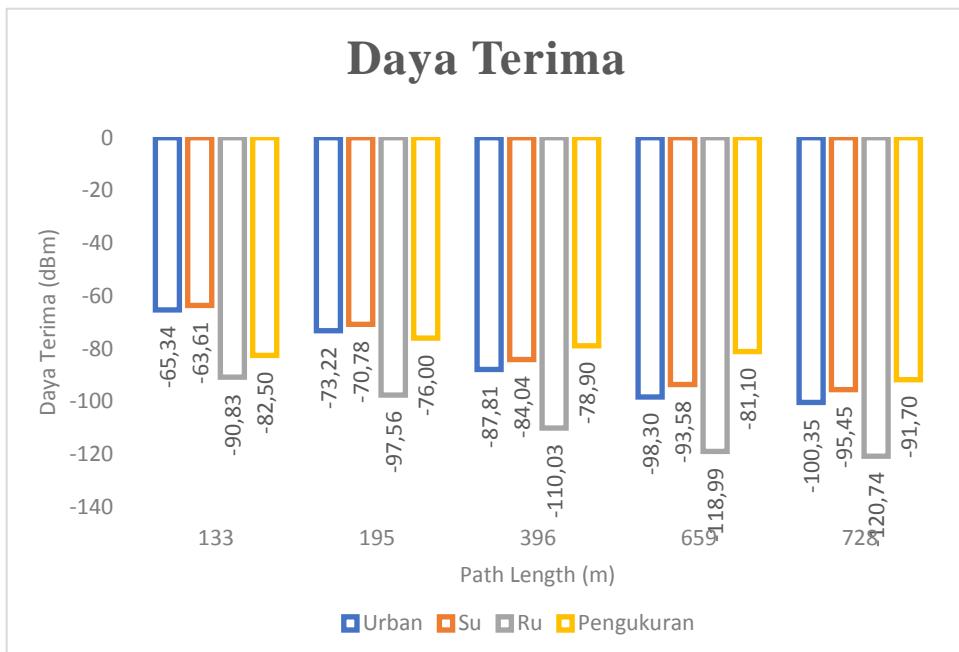
Sama halnya dengan model propgasi COST-231, data perhitungan pada model SUI dilakukan berdasarkan karakteristik *base station*, *antenna transmitter* dan *antenna receiver* yaitu meliputi frekuensi kerja, tinggi *antenna transmitter* dan *receiver*, *power antenna transmitter*, dan *path length* antara *antenna transmitter* dan *receiver*. Namun, jika pada model propgasi COST-231 nilai perhitungan dilakukan pada 2 kategori wilayah (urban dan sub urban/rural), lain halnya dengan model propagasi SUI nilai perhitungannya dilakukan pada 3 kategori wilayah (urban, sub urban dan rural) yang memiliki masing-masing *variable* perhitungan.

Perbandingan antara hasil nilai rata-rata perhitungan model propagasi pada dua aspek yaitu *loss* propagasi dan *receive power* dengan hasil nilai rata-rata pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa penggunaan model propagasi SUI untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendekati hasil pengukuran menggunakan metode *drive test*. Pada hasil pengukuran *drive test* terhadap nilai *loss* propagasi mendapatkan nilai rata-rata sebesar 146,24 dB, dan hasil nilai model propagasi SUI

untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendapatkan hasil nilai rata-rata 145,69 dB, untuk hasil nilai model propagasi SUI untuk daerah *Urban* mendapatkan hasil 149,20 dB sedangkan untuk hasil nilai model propagasi SUI untuk daerah *Rural* mendapatkan hasil 171,83 dB. Oleh sebab itu, model propagasi SUI dengan pemilihan daerah *Sub Urban* cocok digunakan pada site 31140_Lubuk Bukit. Hasil ini selaras dengan perbandingan hasil perhitungan parameter *receive power* yang menunjukkan model propagasi SUI untuk daerah *Sub Urban/Rural* mendekati hasil pengukuran *drive test*. Nilai pengukuran *drive test* didapatkan besar daya terima -82,04 dBm, sedangkan untuk perhitungan daya terima *Urban* sebesar -85 dBm, daya terima *Sub Urban* sebesar -81,49 dBm dan daya terima *Rural* sebesar -107,63 dBm. Perbandingan kedua parameter ini dapat dilihat pada gambar grafik 4.22 dan 4.23.



Gambar 4. 22 Perbandingan *Loss Propagasi* Model Propagasi SUI dan Pengukuran



Gambar 4. 23 Perbandingan Daya Terima Model Propagasi SUI dan Pengukuran

Pembuktian lainnya adalah kondisi wilayah pada *site* 31140_Lubuk Bukit berada di wilayah yang terdapat perbukitan sehingga banyak pepohonan, beberapa gedung tinggi seperti kos-kosan dan merupakan daerah yang termasuk ke dalam wilayah yang padat penduduk, dimana keadaan tersebut sesuai dengan deskripsi daerah *sub urban* pada bagian 2.2.5 mengenai klasifikasi daerah. Kondisi *site* dengan cakupan wilayah yang demikian dapat dilihat pada lampiran 2.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Performansi jaringan pada *site 31140_Lubuk Bukit di Kecamatan Pauh, Padang* dapat ditingkatkan dengan cara melakukan optimasi jaringan menggunakan metode *swap* (pergantian) perangkat *base station* dengan hasil optimasi dilakukan dengan cara pengukuran langsung dilapangan menggunakan metode *drive test* dan melakukan perhitungan menggunakan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI).
2. Pengukuran dengan perhitungan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* (SUI) dilakukan berdasarkan karakteristik *base station*, *antenna transmitter* dan *antenna receiver* yaitu meliputi frekuensi kerja, tinggi *antenna transmitter* dan *receiver*, *power antenna transmitter*, dan *path length* antara *antenna transmitter* dan *receiver*, sedangkan pada pengukuran secara langsung di lapangan, baik/buruknya nilai *loss propagasi* dan daya terima tergantung kepada kondisi di lapangan berdasarkan parameter *Key Performance Indicator* (KPI).
3. Perbandingan pengukuran hasil optimasi menggunakan perhitungan model propagasi COST-231 dan *Standford University Interim* memiliki hasil yang lebih mendekati dengan pengukuran secara langsung di lapangan adalah perhitungan dengan klasifikasi daerah *sub urban* dengan frekuensi kerja

1800 MHz dan 2100 MHz, sedangkan untuk perhitungan dengan klasifikasi daerah *urban* dan *rural* memiliki nilai yang jauh berbeda dengan pengukuran. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan kontur permukaan (alam atau bangunan) pada daerah *urban* dan *rural* dengan daerah *sub urban*.

4. Nilai parameter *Key Performance Indicator* telah memenuhi nilai ambang batas (*threshold*) setelah dilakukan optimasi jaringan melalui metode *swap*, yaitu pada parameter **accessibility** memiliki nilai 99,85% (*after swap*) > 90,05% (*before swap*) dengan nilai ambang batas 99%, parameter **retainability** memiliki nilai 0,21% (*after swap*) < 0,5% (*before swap*) dengan nilai ambang batas 0,25%, parameter **integrity** memiliki nilai 71 Mbps (*after swap*) > 5,2 Mbps (*before swap*) dengan nilai ambang batas 10 Mbps, parameter **mobility** memiliki nilai 98,30% (*after swap*) > 90,19 (*before swap*) dengan nilai ambang batas 98%, dan parameter **traffic** 51,58 GB (*after swap*) < 102,23 GB (*before swap*) dengan nilai ambang batas 80 GB.

4.2 Saran

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa kendala yang cukup berpengaruh, oleh karena itu saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, untuk perbandingan data *before swap* dapat dilakukan pengambilan *sample* data pengukuran di lapangan dengan menggunakan metode *drive test*.
2. Untuk penelitian selanjutnya, dalam menentukan model propagasi dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi daerah (bukan berdasarkan frekuensi kerja) serta dapat menambahkan simulasi model propagasi dengan

menggunakan aplikasi *pathloss* untuk mendapatkan nilai *obstacle* yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- A.R. Misra, Fundamentals of Cellular Network Planning & Optimisation, John Wiley& Sons,Ltd,2004
- BPS Kota Padang. (2020). *Kecamatan Pauh dalam Angka 2020* (Vol. 148).
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2011). *4G LTE/LTE for Mobile Broadband* (Vol. 148).
- Dongdong Fan, Wu, Z., Huang, A., Zhuang, H., & Quek§, T. Q. S. (2013). Joint Coverage Optimization of Multiple Sectors for Cellular Networks. *IEEE*, 148, 148–162.
- Efriyendro, R., & Rahayu, Y. (2017). Analisa Perbandingan Kuat Sinyal 4G LTE Antara Operator Telkomsel dan XL AXIATA Berdasarkan Paramater Drive Test Menggunakan Software G-NetTrack Pro Di Area Jalan Protokol Panam . Rendi Efriyendro *, Yusnita Rahayu *** * Alumni Teknik Elektro Universitas R. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–9.
- Fatoni, F., & sandra, S. (2015). Evaluasi Kualitas Dan Pengguna Jaringan Internet. *Jurnal Informatika*, 4(1), 51–64.
- Foo, S., Vassilakis, B., Member, S., Technologies, P., Place, E. S. A., & Ana, S. (2009). *Adjustable Multi-Sector Cellular Base Station Antenna*. 2(1), 25–41.
- Freeman. Rogel L. 2007. *Radio System Design for Telecommunication*. Amerika : Wiley – Interscience Publication
- Garg, V. K. (2007). *Wireless Communication & Networking*. Elsevier.
- Group, T. (2001). *Telemetry Systems Radio Frequency (RF) Handbook*. 2001.
- Hayt William H, John A. Buck. 2006. “Engineering Electromagnetics”. McGraw

Hill Companies.

- Ihsan, M., & Irawan, B. (2016). *Analisa Propagasi Gelombang Continuous Wave Pada Radio Amatir di Frequency 21 MHz*.
- K.S.Mantirri, Y. S. R. dan R. I. P. (2014). Optimasi Capacity and Coverage Menggunakan ANtena Multisektoral Pada teknologi 4G LTE. *E-Proceeding of Applied Science: Vol.4, No.3 Desember 2018*, 4(3), 2490–2500.
- Kuboye, B. M. (2018). Performance Evaluation of Scheduling Algorithms for 4G (LTE). *Communications and Network*, 10(04), 152–163. <https://doi.org/10.4236/cn.2018.104013>
- Nagpal, Mradul. 2018. “LTE KPIs and Formulae”. India: Rajasthan Technical University
- Nokia. (2019). *DN218047558 Issue 03 DRAFT Approval Date 2019-08-29*. 01, 1–62.
- Purnamirza, T., Arifin, I., Rahmi, D., Elektro, J. T., Matematika, J. P., Islam, U., Sultan, N., & Kasim, S. (2014). *Model Propagasi Kanal Radio Bergerak Pada Gsm Frekuensi 900*. 11(2), 185–191.
- Singh, Y. (2012). Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength. *International Journal of Computer Applications*, 59(11), 37–41. <https://doi.org/10.5120/9594-4216>
- Ulfah, M. (2016). Perhitungan Pathloss Teknologi 4G Long Term Evolution (Lte). *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v3i2.19>
- Wibisono, Gunawan, et all. 2008. “Konsep Teknologi Seluler”. Bandung
- Yanuari, R., Sudiarta, P., & Gunantara, N. (2015). Analisa Kualitas Sinyal Jaringan

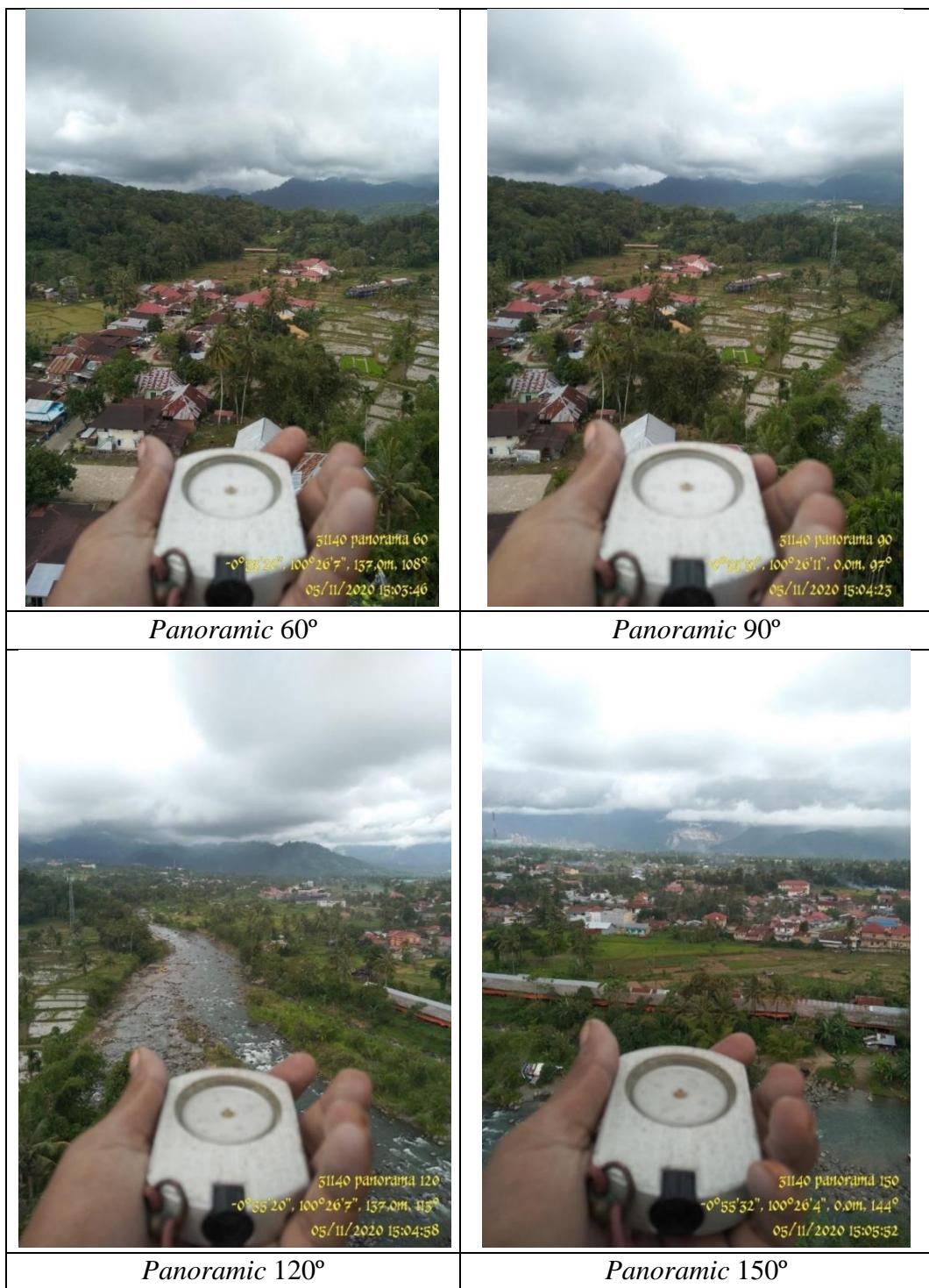
Gsm Pada Menara Rooftop Dengan Membandingkan Aplikasi Metode Drive Test Antara Tems Investigation 8.0.3 Dengan G-Nettrack Pro. *Jurnal Ilmiah SPEKTRUM*, 2(4), 39-45–45.

Zakaria, Y., Hosek, J., & Misurec, J. (2015). Path loss measurements for wireless communication in urban and rural environments. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(1), 94–99. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2015.94.99>

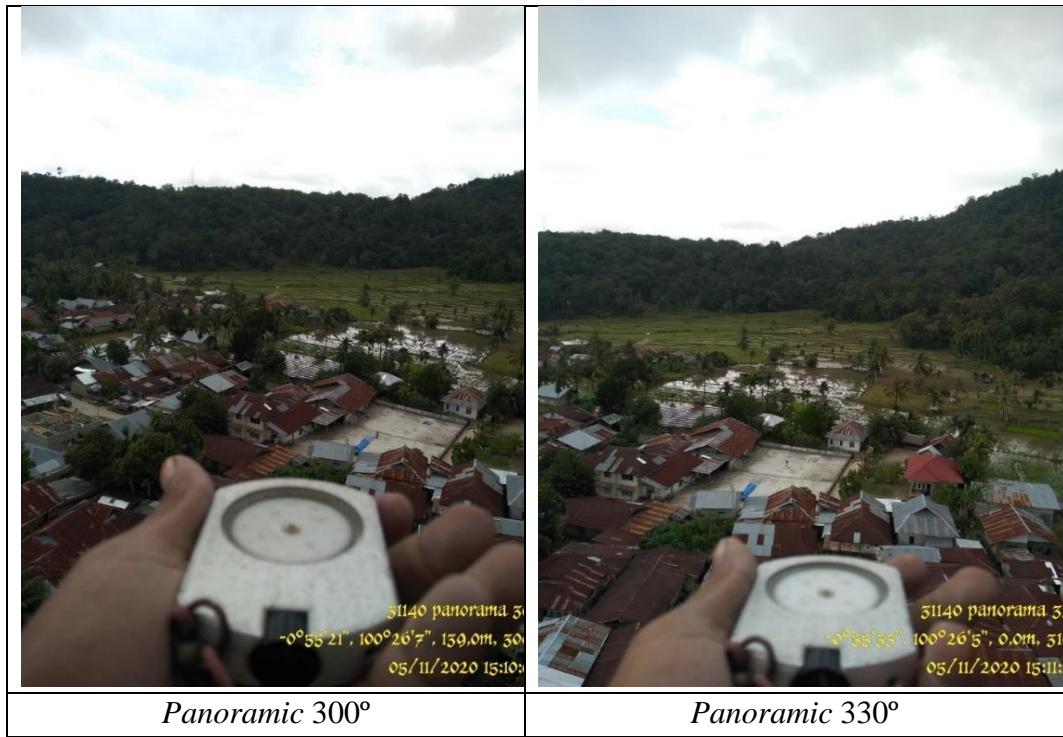
LAMPIRAN

Lampiran 1. *Survei Site*

	
18 Feb 2021 16.18.14 Jalan Lambung Bukit Lambung Bukit Kecamatan Pauh Kota Padang Sumatera Barat site 31140	18 Feb 2021 16.46.50 Jalan Lambung Bukit Lambung Bukit Kecamatan Pauh Kota Padang Sumatera Barat site 31140
Site 31140_Lubuk Bukit 	Jalan akses ke site 
Panoramic 0°	Panoramic 30°







Lampiran 2. Surrounding Area Mobile Station

Mobile Station 1 (Frekuensi 1800MHz)



Mobile Station 2 (Frekuensi 1800MHz)



Mobile Station 3 (Frekuensi 1800MHz)



Keadaan Sekitar

Mobile Station 4 (Frekuensi 1800MHz)



Keadaan Sekitar

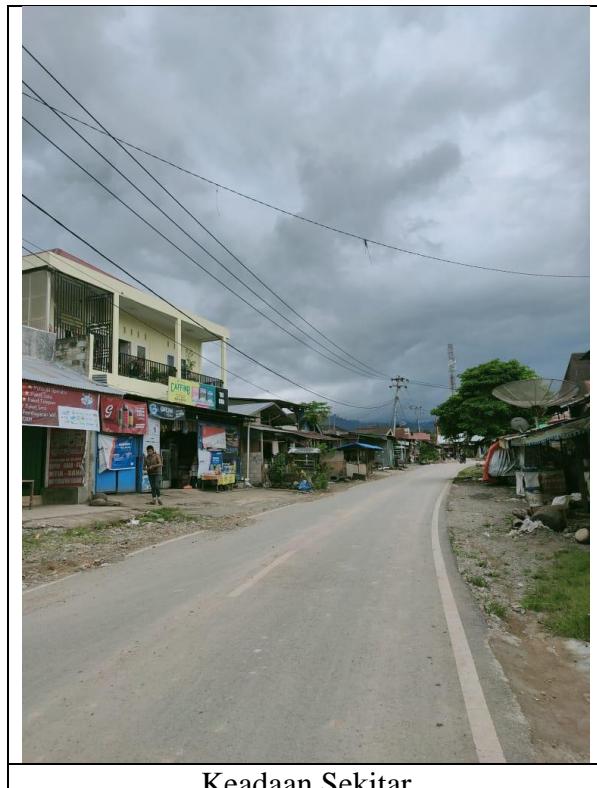
Mobile Station 5 (Frekuensi 1800MHz)



Mobile Station 6 (Frekuensi 2100MHz)



Mobile Station 7 (Frekuensi 1800MHz)



Keadaan Sekitar

Mobile Station 8 (Frekuensi 2100MHz)



Keadaan Sekitar

Mobile Station 9 (Frekuensi 2100MHz)



Mobile Station 10 (Frekuensi 2100MHz)



Lampiran 3. Data KPI Statistik *Before Swap Accessibility*

Period Time`	ACCESSIBILITY					
	Total E-UTRAN RRC conn stp SR Nom	Total E-UTRAN RRC conn stp SR Denom	E-UTRAN RRC CSSR	E-UTRAN E-RAB stp SR Nom	E-UTRAN E-RAB stp SR Denom	E-UTRAN E-RAB stp SR
02/01/2021	22.771	25.467	89,41	17.482	19.951	87,63
03/01/2021	23.449	25.599	91,60	20.727	22.836	90,76
04/01/2021	15.554	17.132	90,79	24.940	27.729	89,94
05/01/2021	23.230	25.701	90,39	22.337	24.481	91,24
06/01/2021	14.645	15.900	92,11	22.469	24.898	90,24
07/01/2021	21.160	23.557	89,82	14.680	16.176	90,75
08/01/2021	17.370	18.935	91,74	19.755	22.082	89,46
09/01/2021	20.554	22.623	90,86	17.955	20.326	88,34
10/01/2021	19.502	21.909	89,01	14.367	15.611	92,03
11/01/2021	23.017	26.087	88,23	16.593	18.423	90,07
12/01/2021	25.424	27.714	91,74	22.272	24.080	92,49
13/01/2021	21.742	24.314	89,42	12.575	14.051	89,50
14/01/2021	17.945	20.192	88,87	25.221	28.414	88,77
15/01/2021	11.250	12.211	92,13	19.550	21.645	90,32
16/01/2021	23.438	26.035	90,02	20.188	22.338	90,37
17/01/2021	19.462	21.861	89,03	22.201	24.242	91,58
18/01/2021	19.545	22.194	88,07	19.917	22.222	89,63
19/01/2021	17.563	19.079	92,05	20.999	23.390	89,78
20/01/2021	13.439	14.735	91,21	18.218	20.154	90,39
21/01/2021	23.861	26.428	90,29	16.005	18.099	88,43
22/01/2021	22.656	24.907	90,96	22.058	24.505	90,01
23/01/2021	19.702	21.881	90,04	26.642	28.797	92,52
24/01/2021	22.063	24.614	89,64	16.584	18.797	88,23
25/01/2021	21.556	23.798	90,58	26.119	28.406	91,95
26/01/2021	22.573	25.115	89,88	24.509	27.553	88,95
27/01/2021	14.605	16.296	89,63	24.647	26.431	93,25
28/01/2021	18.164	20.340	89,30	16.958	18.882	89,81
29/01/2021	24.478	26.816	91,28	24.117	26.419	91,29
30/01/2021	24.627	27.817	88,53	14.100	15.824	89,11
31/01/2021	22.893	25.138	91,07	22.177	24.272	91,37
01/02/2021	21.901	24.194	90,52	23.541	26.517	88,78

02/02/2021	19.381	22.263	87,05	17.865	19.641	90,95
03/02/2021	23.444	25.752	91,04	20.246	22.574	89,68
04/02/2021	29.908	33.012	90,60	24.452	27.875	87,72
05/02/2021	18.448	20.201	91,32	27.272	29.565	92,24
06/02/2021	19.063	21.697	87,86	20.236	22.321	90,66
07/02/2021	21.100	23.219	90,87	21.334	24.103	88,51
08/02/2021	17.653	20.102	87,82	23.448	26.018	90,12
09/02/2021	22.113	25.086	88,15	19.072	21.858	87,26
10/02/2021	24.221	26.338	91,96	17.782	19.972	89,04
11/02/2021	19.305	21.382	90,29	24.041	26.622	90,31
12/02/2021	18.095	20.044	90,28	20.949	23.416	89,47
13/02/2021	15.098	16.966	88,99	24.512	27.645	88,67
14/02/2021	24.394	27.503	88,70	21.627	24.125	89,64

Lampiran 4. Data KPI Statistik *Before Swap Retainability*

Period Time`	RETAINABILITY		
	E- RAB DR RAN Nom	E- RAB DR RAN Denom	E-RAB DR RAN
02/01/2021	56	28.781	0,20
03/01/2021	121	31.151	0,39
04/01/2021	110	23.999	0,46
05/01/2021	85	20.035	0,42
06/01/2021	96	28.690	0,33
07/01/2021	99	23.636	0,42
08/01/2021	138	19.974	0,69
09/01/2021	147	19.031	0,77
10/01/2021	140	20.990	0,67
11/01/2021	127	21.715	0,59
12/01/2021	181	32.231	0,56
13/01/2021	125	25.527	0,49
14/01/2021	132	27.761	0,47
15/01/2021	133	29.518	0,45
16/01/2021	94	17.287	0,54
17/01/2021	100	25.192	0,40
18/01/2021	256	34.307	0,75
19/01/2021	107	20.687	0,52
20/01/2021	109	23.017	0,48
21/01/2021	96	24.080	0,40
22/01/2021	88	22.996	0,38
23/01/2021	97	24.262	0,40
24/01/2021	155	26.246	0,59
25/01/2021	153	21.792	0,70
26/01/2021	152	26.524	0,57
27/01/2021	229	29.167	0,79
28/01/2021	216	43.548	0,50
29/01/2021	118	21.830	0,54
30/01/2021	203	35.013	0,58
31/01/2021	104	25.579	0,40
01/02/2021	172	24.316	0,71
02/02/2021	187	34.989	0,53
03/02/2021	116	30.087	0,38

04/02/2021	221	35.776	0,62
05/02/2021	165	31.752	0,52
06/02/2021	144	27.322	0,53
07/02/2021	81	21.260	0,38
08/02/2021	114	25.857	0,44
09/02/2021	37	24.016	0,15
10/02/2021	138	22.205	0,62
11/02/2021	123	31.364	0,39
12/02/2021	93	29.499	0,31
13/02/2021	142	24.899	0,57
14/02/2021	53	16.190	0,33

Lampiran 5. Data KPI Statistik *Before Swap Mobility*

Period Time`	MOBILITY					
	Intra eNB HO SR Nom	Intra eNB HO SR Denom	Intra eNB HO SR	inter eNB E- UTRAN HO SR X2 Nom	inter eNB E- UTRAN HO SR X2 Denom	inter eNB E- UTRAN HO SR X2
02/01/2021	2.087	2.363	88,32	1.074	1.194	89,94
03/01/2021	1.476	1.650	89,46	1.648	1.796	91,74
04/01/2021	2.625	2.879	91,17	2.371	2.561	92,58
05/01/2021	1.790	1.999	89,57	2.441	2.645	92,30
06/01/2021	2.458	2.656	92,53	3.025	3.389	89,27
07/01/2021	3.363	3.760	89,44	2.418	2.674	90,41
08/01/2021	2.909	3.246	89,62	2.096	2.336	89,73
09/01/2021	3.114	3.583	86,91	1.942	2.198	88,36
10/01/2021	2.199	2.385	92,21	2.414	2.653	91,01
11/01/2021	3.525	3.938	89,53	2.230	2.524	88,36
12/01/2021	1.947	2.117	91,97	1.901	2.099	90,60
13/01/2021	2.199	2.411	91,21	2.384	2.630	90,65
14/01/2021	2.314	2.509	92,24	2.359	2.622	89,96
15/01/2021	2.419	2.681	90,25	2.667	2.961	90,07
16/01/2021	2.192	2.479	88,44	2.362	2.584	91,42
17/01/2021	3.027	3.270	92,56	2.606	2.889	90,19
18/01/2021	2.092	2.303	90,82	2.065	2.309	89,45
19/01/2021	2.668	2.909	91,73	3.530	3.856	91,57
20/01/2021	1.736	1.920	90,41	2.107	2.368	88,96
21/01/2021	2.394	2.629	91,05	2.607	2.848	91,53
22/01/2021	2.629	2.962	88,76	2.083	2.343	88,91
23/01/2021	2.466	2.704	91,18	2.157	2.423	88,99
24/01/2021	2.816	3.130	89,97	2.182	2.382	91,62
25/01/2021	1.908	2.120	89,99	2.765	3.068	90,13
26/01/2021	2.039	2.289	89,09	2.778	3.083	90,11
27/01/2021	2.071	2.286	90,61	1.867	2.050	91,07
28/01/2021	1.807	2.012	89,83	2.188	2.442	89,60
29/01/2021	1.392	1.563	89,01	1.789	2.022	88,45
30/01/2021	2.872	3.148	91,26	1.840	2.051	89,72
31/01/2021	2.029	2.244	90,42	2.935	3.337	87,95
01/02/2021	2.676	2.977	89,91	2.451	2.716	90,24
02/02/2021	2.695	2.967	90,84	2.253	2.511	89,72
03/02/2021	2.527	2.842	88,92	2.399	2.692	89,12

04/02/2021	2.434	2.792	87,17	1.992	2.212	90,05
05/02/2021	2.410	2.676	90,04	2.450	2.737	89,54
06/02/2021	1.323	1.447	91,44	1.834	2.022	90,71
07/02/2021	2.260	2.566	88,08	1.408	1.532	91,90
08/02/2021	2.192	2.486	88,19	2.446	2.694	90,81
09/02/2021	3.327	3.711	89,67	2.399	2.645	90,72
10/02/2021	1.565	1.772	88,29	2.914	3.235	90,07
11/02/2021	2.391	2.665	89,71	2.731	2.987	91,42
12/02/2021	2.087	2.254	92,60	1.653	1.820	90,87
13/02/2021	2.648	2.907	91,11	2.590	2.869	90,27
14/02/2021	2.277	2.507	90,83	2.528	2.797	90,38

Lampiran 6. Data KPI Statistik *Before Swap Integrity* dan *Usage*

Period Time`	INTEGRITY			USAGE
	Max. PDCP DL Thr	Latency	Average CQI	Traffic (GB)
02/01/2021	6.472	29,10	7,84	96
03/01/2021	5.147	23,34	7,00	104
04/01/2021	5.372	24,73	7,48	110
05/01/2021	6.301	24,87	6,90	107
06/01/2021	5.730	26,63	7,94	102
07/01/2021	5.103	27,40	8,13	101
08/01/2021	6.220	27,22	7,65	87
09/01/2021	3.289	25,10	7,68	85
10/01/2021	5.417	27,14	7,56	88
11/01/2021	5.488	27,19	7,44	119
12/01/2021	4.923	27,59	7,53	90
13/01/2021	5.792	29,51	7,57	86
14/01/2021	5.348	27,49	6,61	116
15/01/2021	4.102	27,22	7,24	104
16/01/2021	5.747	33,21	8,00	89
17/01/2021	5.204	31,25	7,75	105
18/01/2021	4.985	33,91	8,00	117
19/01/2021	6.578	31,80	7,42	105
20/01/2021	4.609	30,69	7,71	89
21/01/2021	3.086	31,93	7,36	118
22/01/2021	6.846	31,17	7,31	109
23/01/2021	5.424	30,28	7,65	108
24/01/2021	4.332	31,65	7,97	90
25/01/2021	5.969	29,83	7,89	82
26/01/2021	6.011	27,51	7,47	96
27/01/2021	5.899	28,14	7,69	117
28/01/2021	5.291	32,29	7,74	98
29/01/2021	5.411	32,51	7,87	94
30/01/2021	6.334	33,12	7,92	110
31/01/2021	6.206	32,10	7,57	99
01/02/2021	4.741	30,59	7,57	116
02/02/2021	5.880	30,00	7,49	119
03/02/2021	5.699	30,63	7,69	94

04/02/2021	5.313	32,76	7,53	101
05/02/2021	4.331	32,08	7,47	96
06/02/2021	5.969	31,93	7,32	95
07/02/2021	7.781	33,95	7,15	113
08/02/2021	4.641	31,75	7,53	82
09/02/2021	4.271	31,97	8,39	90
10/02/2021	5.519	30,44	7,70	118
11/02/2021	6.331	24,28	7,32	119
12/02/2021	4.016	31,60	7,74	117
13/02/2021	2.838	31,78	7,57	113
14/02/2021	4.322	31,59	7,92	104

Lampiran 7. Data KPI Statistik *After Swap Accessibility*

Period Time	ACCESSIBILITY					
	Total E-UTRAN RRC conn stp SR Nom	Total E-UTRA N RRC conn stp SR Denom	E-UTR AN RRC CSSR	E-UTRA N E-RAB stp SR Nom	E-UTRA N E-RAB stp SR Denom	E-UTRAN E-RAB stp SR
6/1/21	33.167	33.239	99,78	30.758	30.815	99,82
6/2/21	34.993	35.036	99,88	32.625	32.677	99,84
6/3/21	34.458	34.509	99,85	32.011	32.066	99,83
6/4/21	34.722	34.803	99,77	32.390	32.452	99,81
6/5/21	35.128	35.251	99,65	32.592	32.662	99,79
6/6/21	37.042	37.104	99,83	34.636	34.682	99,87
6/7/21	36.871	36.931	99,84	34.356	34.409	99,85
6/12/21	35.035	35.117	99,77	32.553	32.611	99,82
6/13/21	36.991	37.069	99,79	34.468	34.526	99,83
6/14/21	37.316	37.391	99,80	34.738	34.791	99,85
6/15/21	37.535	37.619	99,78	35.011	35.071	99,83
6/16/21	38.015	38.111	99,75	35.192	35.268	99,78
6/17/21	34.328	34.377	99,86	31.697	31.754	99,82
6/18/21	36.158	36.221	99,83	33.458	33.504	99,86
6/19/21	35.313	35.380	99,81	32.836	32.892	99,83
6/22/21	35.514	35.565	99,86	33.130	33.186	99,83
6/23/21	37.468	37.528	99,84	34.972	35.030	99,83
6/24/21	39.016	39.103	99,78	36.050	36.116	99,82
6/27/21	34.595	34.640	99,87	32.438	32.481	99,87

Lampiran 8. Data KPI Statistik *After Swap Retainability*

Period Time	RETAINABILITY		
	E-RAB DR RAN Nom	E-RAB DR RAN Denom	E- RAB DR RAN
6/1/21	71	30.307	0,24
6/2/21	75	32.140	0,23
6/3/21	63	31.493	0,20
6/4/21	64	31.893	0,20
6/5/21	81	32.085	0,25
6/6/21	62	34.133	0,18
6/7/21	62	33.863	0,18
6/12/21	65	32.146	0,20
6/13/21	63	34.048	0,18
6/14/21	70	34.289	0,20
6/15/21	59	34.514	0,17
6/16/21	83	34.652	0,24
6/17/21	73	31.242	0,23
6/18/21	64	33.016	0,19
6/19/21	71	32.284	0,22
6/22/21	73	32.639	0,22
6/23/21	96	34.425	0,28
6/24/21	74	35.332	0,21
6/27/21	62	31.958	0,19

Lampiran 9. Data KPI Statistik *After Swap Mobility*

Period Time	MOBILITY					
	Intra eNB HO SR Nom	Intra eNB HO SR Denom	Intra eNB HO SR	inter eNB E-UTRAN HO SR X2 Nom	inter eNB E-UTRAN HO SR X2 Denom	inter eNB E-UTRAN HO SR X2
6/1/21	2.497	2.535	98,49	2.821	2.891	97,59
6/2/21	2.987	3.035	98,41	3.393	3.461	98,03
6/3/21	2.610	2.659	98,16	3.336	3.418	97,59
6/4/21	2.671	2.711	98,51	2.966	3.035	97,72
6/5/21	2.780	2.821	98,53	3.037	3.106	97,76
6/6/21	3.215	3.256	98,75	2.989	3.060	97,66
6/7/21	2.918	2.973	98,12	2.941	3.001	97,99
6/12/21	3.014	3.059	98,53	3.319	3.393	97,79
6/13/21	2.951	2.993	98,58	3.081	3.162	97,43
6/14/21	2.775	2.821	98,35	3.347	3.412	98,09
6/15/21	3.147	3.190	98,65	3.626	3.702	97,94
6/16/21	2.920	2.960	98,66	3.341	3.419	97,71
6/17/21	2.232	2.264	98,56	3.180	3.295	96,53
6/18/21	2.353	2.396	98,22	3.098	3.202	96,74
6/19/21	2.434	2.475	98,34	2.972	3.052	97,38
6/22/21	2.702	2.732	98,91	3.283	3.363	97,60
6/23/21	2.709	2.743	98,77	3.508	3.617	97,00
6/24/21	2.661	2.689	98,99	2.458	2.538	96,87
6/27/21	2.437	2.464	98,92	2.612	2.728	95,74

Lampiran 10. Data KPI Statistik *After Swap Integrity dan Usage*

Period Time	INTEGRITY			USAGE
	Max. PDCP DL Thr	AVERAGE CQI	LATENCY	
6/1/21	70194	11,07	22,55	41,34
6/2/21	68550	10,70	28,98	51,08
6/3/21	70618	10,92	26,82	49,23
6/4/21	68177	10,72	27,11	51,77
6/5/21	72171	10,65	28,72	54,35
6/6/21	71537	10,70	30,59	56,59
6/7/21	69802	10,82	26,76	50,36
6/12/21	69225	10,69	28,76	52,63
6/13/21	70766	10,66	29,75	55,46
6/14/21	68112	10,63	29,77	55,45
6/15/21	72696	10,73	28,75	54,59
6/16/21	67958	10,91	23,25	47,42
6/17/21	69702	11,10	22,56	41,04
6/18/21	74377	10,85	27,27	50,96
6/19/21	72344	10,91	26,20	48,64
6/22/21	75205	10,79	29,61	55,65
6/23/21	70362	10,94	27,53	52,30
6/24/21	75641	10,84	28,27	55,64
6/27/21	72340	10,88	28,19	55,49