

ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE ADVANCED MENGUNAKAN METODE TRI – BAND CARRIER AGGREGATION DI SOREANG KABUPATEN BANDUNG

Analysis of LTE Advanced Network Planning Using Tri-Band Carrier Aggregation Method in Soreang of Bandung Regency

Rifqi Diansyah^[1], Tri Nopiani Damayanti, S.T., M.T.^[2], Akrom Dharmiko, S.T.^[3]
Program Studi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi No.1 Dayeuhkolot Bandung 40257 Indonesia
rifqidiansyah1@gmail.com, damayanti@tass.telkomuniversity.ac.id, akrom_dharmiko@telkomsel.co.id

Abstrak

Pengguna layanan jaringan LTE terus meningkat, sehingga menyebabkan kepadatan beban trafik site tinggi. Berdasarkan data operator Telkomsel, terdapat 4 site yang ada di desa cingcin soreang mempunyai presentase PRB yang tinggi, dimana 2 dari site tersebut mempunyai presentase PRB diatas 90%. Hal tersebut mengakibatkan performansi jaringan LTE pada daerah tersebut tidak maksimal. Hal ini dibuktikan dengan dilakukannya Drive Test di desa cingcin soreang dengan memperhatikan parameter jaringan seperti RSRP, SINR, dan Throughput hasilnya untuk nilai dari parameter RSRP dan SINR memenuhi standar operator Telkomsel, sedangkan untuk nilai dari parameter Throughput kurang memenuhi standar operator Telkomsel. Solusi untuk mengatasi masalah ini yaitu dilakukannya perencanaan jaringan LTE Advanced yang mendukung fitur carrier aggregation, yang memungkinkan penggunaan lebih dari satu frekuensi kerja secara bersamaan. Sehingga memberikan peningkatan capacity user dan throughput dengan penggunaan spectrum yang lebih efisien.

Pada proyek akhir ini dilakukan perencanaan jaringan LTE Advanced menggunakan metode tri-band carrier aggregation yaitu pada frekuensi 900 MHz, 1800 MHz dan pada frekuensi 2300 MHz. Simulasi dilakukan menggunakan software Atoll dan parameter yang diukur dan dianalisis pada perencanaan jaringan LTE Advanced antara lain: Reference Signal Received Power (RSRP), Signal to Interference Noise Ratio (SINR), dan Throughput. Jumlah site yang digunakan untuk perencanaan jaringan LTE Advanced sebanyak 1 site, yaitu site CINGCINKOLOT sesuai dengan perhitungan capacity planning. Dari hasil simulasi pada software Atoll, untuk perencanaan skenario tanpa CA didapat mean RSRP -91,65 dBm, mean SINR 16,34 dB, dan mean peak RLC channel throughput 108,68 Mbps, sedangkan perencanaan skenario dengan tri-band carrier aggregation didapat mean RSRP -83,87 dBm, mean SINR 17,01 dB, dan mean peak RLC channel throughput 219,9 Mbps.

Kata kunci : LTE, LTE Advanced, carrier aggregation, tri-band carrier aggregation, RSRP, SINR, Throughput.

Abstract

LTE network service users are currently increasing. This causes a high density of traffic load at a site. Based on Telkomsel operator data, there are four sites in Cingcin Soreang Village that have a high percentage of PRB. Two of these sites have a PRB percentage above 90%. This causes the LTE network performance in the area was not optimal. This is proven by conducting a Drive Test in Cingcin Soreang Village by taking into account network parameters such as RSRP, SINR, and Throughput. Results for RSRP and SINR parameter values have met Telkomsel operator standards, while for Throughput parameter values do not meet Telkomsel operator

standards. The solution to this problem is to do LTE Advanced network planning that supports carrier aggregation features. This feature allows the use of more than one working frequency simultaneously, thus providing increased user capacity and throughput with the use of more efficient spectrum.

In this Final Project, LTE Advanced network planning is carried out using the tri-band carrier aggregation method, which is at a frequency of 900MHz, 1800MHz, and 2300MHz. The simulation is done using Atoll software. The parameters measured and analyzed in this LTE Advanced network planning include: Reference Signal Received Power (RSRP), Signal to Interference Noise Ratio (SINR), and Throughput. The number of sites used for LTE Advanced network planning is one site, namely the CINGCINKOLOLOT site according to capacity planning calculations. From Atoll software simulations, for scenario planning without carrier aggregation method, the mean RSRP is -81.82dBm, the mean SINR is 17.3dB, and the mean peak RLC channel throughput is 73.45Mbps. Meanwhile, the results of scenario planning using the tri-band carrier aggregation method obtained mean RSRP of -78.81dBm, mean SINR of 19.94dB, and mean peak RLC channel throughput of 157.86 Mbps.

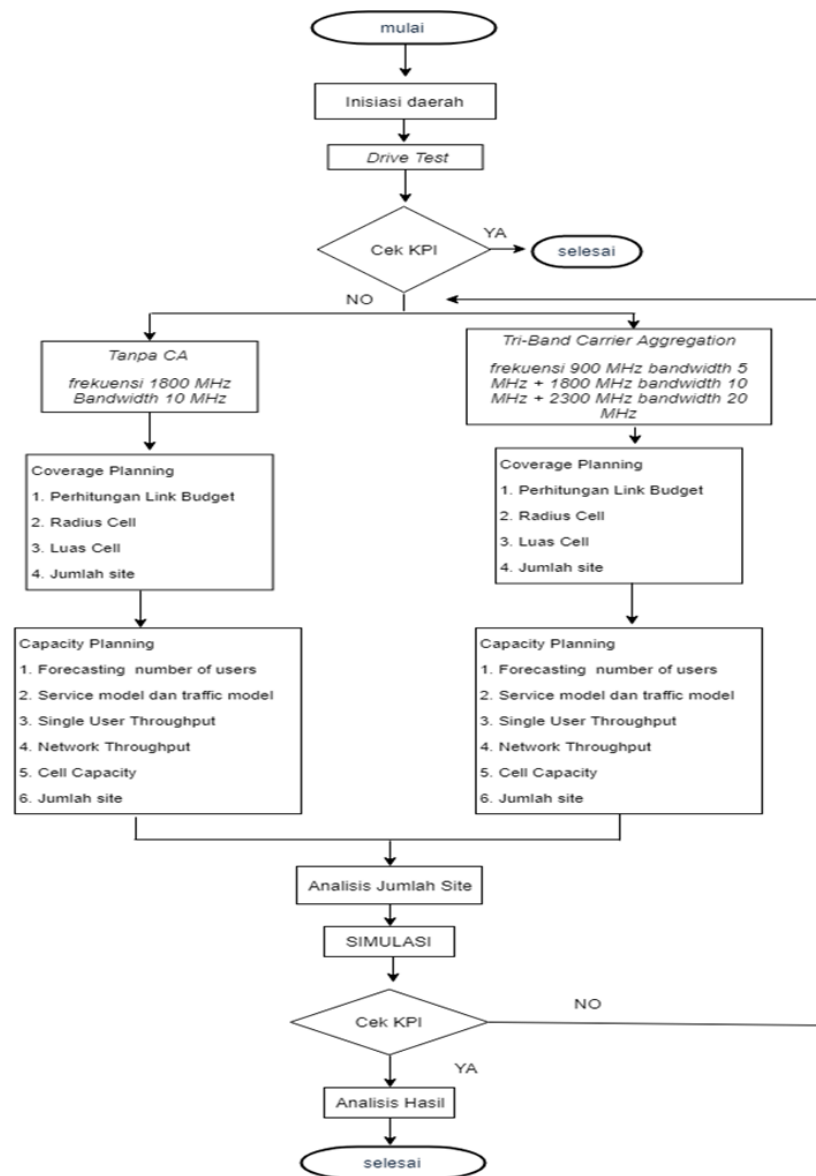
Keywords: LTE Advanced, tri-band carrier aggregation, RSRP, SINR, Throughput.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi seluler saat ini semakin berkembang, karena kebutuhan user yang semakin meningkat khususnya teknologi seluler LTE. Semakin banyaknya user maka semakin besar akses data. Pengguna atau user mengukur suatu layanan jaringan operator seluler dari kecepatan akses data untuk internet atau pengunduhan data. Maka dari itu teknologi seluler dituntut untuk meningkatkan kualitas layanan dengan datarate yang tinggi dan bandwidth yang besar. Namun keterbatasan penggunaan bandwidth yang lebar memakan spektrum frekuensi, hal ini yang menjadi masalah bagi operator seluler yang memiliki sumber daya frekuensi yang terbatas yaitu menggunakan bandwidth 20 MHz untuk LTE release 8[9].

Pada tahun 2010, 3GPP meluncurkan LTE Advanced dan ditetapkan menjadi kandidat 4G oleh ITU. Salah satu fitur yang didukung di dalam LTE Advanced yaitu Carrier Aggregation. Carrier Aggregation merupakan penyatuan antara dua atau lebih Component Carrier (CC) yang dimiliki oleh suatu operator dengan maksimum CC sebesar 100 MHz baik dalam band frekuensi yang sama maupun berbeda untuk meningkatkan data rate di sisi pelanggan[13]. Namun pada LTE Release-10 hanya terdapat konfigurasi Carrier Aggregation pada dua pita frekuensi. Pada pengembangan LTE Release 10 yaitu LTE Release 12, 3GPP menspesifikasikan konfigurasi CA dengan tiga pita frekuensi berbeda sehingga dapat menghasilkan data rate yang lebih tinggi. Fitur tri-band Carrier Aggregation ini diharapkan dapat mengoptimalkan performa jaringan LTE di Indonesia, terutama di desa cingcin soreang. Untuk mengatasi beban trafik yang tinggi site yang ada di daerah tersebut, dimana terdapat 4 site dengan PRB tinggi, 2 dari site tersebut mempunyai PRB diatas 90%. Hal ini yang melatarbelakangi perencanaan jaringan LTE Advanced menggunakan metode tri-band carrier aggregation di desa cingcin soreang yang digelar pada frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, dan 2300 MHz untuk meningkatkan capacity user dan throughput. Perancangan yang dilakukan menggunakan dua pendekatan yaitu coverage planning dan capacity planning. Parameter-parameter yang akan dihitung yaitu Reference Signal Received Power (RSRP), Signal to Interference Noise Ratio (SINR), dan *Throughput*.

2. Dasar Teori



Gambar 2.1 Diagram Alir Perencanaan

2.1 Planning by Coverage

Perancangan jaringan LTE dengan metode planning by coverage memastikan jumlah site dalam suatu cakupan daerah dapat melayani user yang ada dengan tingkat loss yang dapat ditoleransi sehingga menghasilkan penerimaan sinyal yang baik dalam suatu area.

2.1.1 Perhitungan Link Budget

Proses pertama dalam melakukan perancangan jaringan LTE dengan metode planning by coverage ialah menghitung link budget. Perhitungan link budget dilakukan guna memperkirakan nilai kemungkinan path loss maksimum (MAPL) yang terjadi antara transmitter dan receiver.

2.1.2 Model Propagasi

Dari hasil perhitungan link budget, didapatkan nilai MAPL yang digunakan untuk menghitung radius sel sesuai dengan model propagasi yang digunakan. Pada jurnal ini, digunakan model

propagasi Cost231 yang dipilih berdasarkan frekuensi yang digunakan oleh Primary Cell (PCell) yaitu 1800 MHz.

$$PL = 46,3 + 33,9 (\text{Log } f) - 13,82 \text{ Log } hb - a(\text{hm}) + (44,9 - 6,55 \text{ Log } hb) \text{ Log } d + C_m \quad (2.1)$$

$$a(\text{hm}) = (1,1 \text{ Log } f - 0,7) \text{ hr} - (1,56 \text{ Log } f - 0,8) \quad (2.2)$$

2.1.3 Perhitungan Luas Sel

Menghitung luas sel yang menggunakan 3-sectoral dengan sektorisasi 1200 [2].

$$L_{\text{cell}} = 1,95 \times 2,6 \times d^2 \quad (2.3)$$

Dimana :

L_{cell} = Luas sel (km²)

D = Jari-jari sel (km)

2.1.4 Perhitungan Jumlah Sel

Untuk menentukan jumlah sel yang dibutuhkan, maka digunakan rumus [2]:

$$\sum \text{LTE Cell} = \text{Larea} / \text{Lcell} \quad (2.4)$$

Dimana :

$\sum \text{LTE Cell}$ = Jumlah Sel LTE

L_{area} = Luas Area

L_{cell} = Luas Cell

Tabel 2.1 Kebutuhan Site berdasarkan Coverage Planning

Parameter	Uplink	Downlink
Morfologi	Urban	
Frekuensi	1800 MHz	
Model Propagasi	Cost 231	
MAPL (dB)	129.145	131.528
Radius (km ²)	1.035	1.41
Luas sel (km ²)	2.018	3.732
Luas Area (km ²)	1,98	
Jumlah site	1	1

2.2 Planning by Capacity

Perancangan jaringan dengan metode planning by capacity digunakan untuk memperkirakan kebutuhan trafik yang ada dari suatu daerah perancangan. Kebutuhan trafik yang ada bergantung kepada jenis daerah perancangan akibat dari karakteristik suatu daerah itu sendiri. Planning by capacity juga menghitung jumlah sel yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan trafik suatu daerah, perhitungannya mencakup dua hal yaitu kebutuhan trafik user dan kapasitas sel atau throughput per cell.

2.2.1 Forecasting user

Estimasi jumlah pelanggan dilakukan untuk memastikan bahwa kapasitas jaringan yang dibangun mampu untuk melayani jumlah pelanggan yang bertumbuh dalam beberapa tahun kedepan [3].

$$U_n = U_o \times (1 + F_p)^n \quad (2.5)$$

U_n = jumlah pelanggan pada tahun ke n
 U_0 = jumlah pelanggan pada tahun acuan
 F_p = faktor pertumbuhan penduduk
 n = tahun yang akan diprediksi

2.2.2 Throughput per layanan

Kualitas suatu layanan yang diberikan dalam suatu jaringan harus memenuhi throughput minimal yang dihitung berdasarkan masing-masing jenis layanan yang ada. Persamaan throughput per session diperoleh menggunakan perhitungan seperti dibawah ini [7].

$$\text{Throughput} = \text{Bearer Rate} \times \text{session Time} \times \text{session Duty Ratio} \times [1/(1-\text{BLER})] \quad (2.6)$$

Session Time = Duration per service

Session Duty Ratio = Data transmission ratio per session

BLER = Tolerated Block Error rate

Bearer Rate = Applicatin Layer bir rate

Penetration Rate = How good service can affect customer

BHSA = busy hour service attempt

2.2.3 Single User Throughput

Masing-masing user yang ada dalam jaringan memiliki nilai throughput yang beragam akibat dari beberapa layanan yang diakses saat jam sibuk. Sehingga perhitungan single user throughput diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

$$\text{SUT} = \sum[(\text{Throughput/Session}) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration} \times (1 + \text{Peak to average ratio})] / 3600 \quad (2.7)$$

Keterangan:

Traffic penetration ratio = proporsi kemungkinan suatu layanan digunakan oleh user suatu daerah.

BHSA = busy hour service attempt untuk satu user

Peak to Average Ratio = asumsi presentase tertinggi kelebihan beban suatu jaringan

2.2.4 Network Throughput

Setelah mendapatkan nilai *single user throuhput*, kemudian menghitung *network throughput* agar mengetahui berapa total *throughput* untuk semua user [7].

$$\text{UL Network Throughput} = \text{Total user} \times \text{UL Single User Throughput} \quad (2.8)$$

$$\text{DL Network Throughput} = \text{Total user} \times \text{DL Single User Throughput} \quad (2.9)$$

Dimana:

Total user number : Forecasting number of user in a operator

UL Single User Throughput : total uplink throughput of a single user in desired service area

DL Single User Throughput : total Downlink throughput of a single user in desired service area

2.2.5 Cell Capacity

Kapasitas suatu sel dihitung untuk mendapatkan kapasitas maksimum dari suatu sel yang mampu untuk menerima permintaan trafik dari user yang ada. Perhitungan kapasitas sel diperoleh dari persamaan berikut [7].

$$DL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168 - 36 - 12) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times N_{rb} \times C \times 1000 \quad (2.10)$$

$$UL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168 - 24) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times N_{rb} \times C \times 1000 \quad (2.11)$$

Keterangan:

- CRC = 24
- 168 = the number RE (Resource element) in 1 ms
- 36 = The number of control chanel RE in 1 ms
- 12 = The number of reference signal RE in 1 ms
- 24 = the number of reference signal RE in 1 ms
- Code bits = modulation effeciency
- Code rate = chanel coding rate
- N_{rb} = number resource blocks (RBs)
- C = MIMO Antenna mode

2.2.6 Cell Average Throughput

Perhitungan cell average throughput dipengaruhi oleh rata-rata SINR distribution yang didapatkan dari data hasil simulasi suatu vendor. Untuk mendapatkan cell average throughput, dapat digunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$\text{Cell Average Throughput} = \sum_{n=1}^k P_n \times R_n \quad (2.12)$$

k = jumlah DL atau UL cell throughput (Mbps)

P_n = SINR probability

R_n = DL atau UL cell throughput (Mbps)

2.2.7 Jumlah Cell

Setelah mendapatkan nilai throughput berdasar permintaan user dan kapasitas sel, maka dapat dihitung jumlah sel yang dibutuhkan baik dari arah uplink maupun arah downlink. Di bawah ini adalah persamaan untuk menghitung jumlah sel [6]:

$$\sum \text{Cell (UL)} = (\text{UL Network Throughput}) / (\text{Throughput per Cell}) \quad (2.13)$$

$$\sum \text{Cell (DL)} = (\text{DL Network Throughput}) / (\text{Throughput per Cell}) \quad (2.14)$$

2.2.8 Jumlah Site

Hasil dari perhitungan jumlah sel di atas digunakan untuk menghitung banyaknya site yang diperlukan dengan menggunakan persamaan [3]:

$$\text{Number of Site} = (\text{Number of cell}) / 3 \quad (2.15)$$

Tabel 2.2 Kebutuhan jumlah site berdasarkan *capacity planning* tanpa CA

Tanpa CA	Urban	
	Uplink	Downlink
Network Throughput (MAC) (Mbps)	54.102	206.967
Cell Average Throughput (MAC) (Mbps)	29.89	24.91
Capacity Per Site	89.67	74.73
Number of cell (UL/DL)	2	8
Number of eNodeB (UL/DL)	1	3

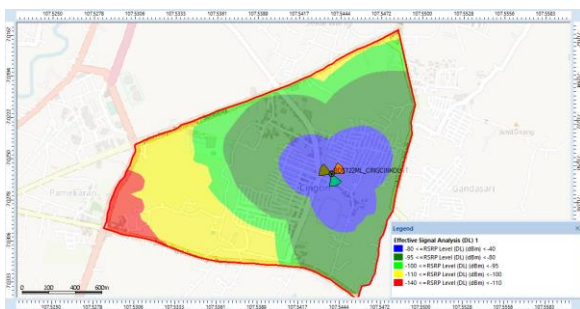
Tabel 2.3 Kebutuhan jumlah site berdasarkan *capacity planning* dengan CA

Item CA	Urban	
	Uplink	Downlink
Network Throughput (MAC) (Mbps)	54.102	206.967
Cell Average Throughput (MAC) (Mbps)	153.35	127.79
Capacity Per Site	460.05	383.37
Number of cell (UL/DL)	0	2
Number of eNodeB (UL/DL)	0	1

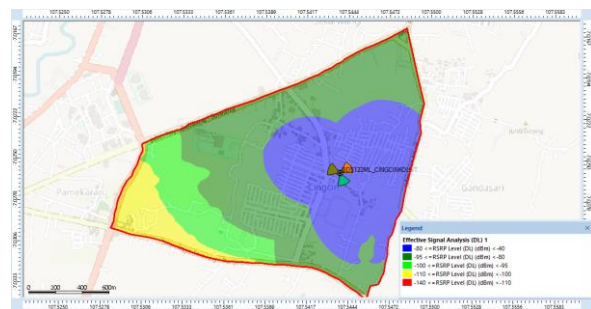
Dari Perhitungan diatas maka site CINGCINKOLOT perlu ditambahkan fitur Tri-Band Carrier Aggregation untuk memenuhi jumlah pelanggan dan trafik pelanggan untuk waktu sekarang dan 5 tahun kepedepan, Karena dengan fitur tri-band carrier aggregation menggunakan bandwidth 15 MHz pada frekuensi 1800 MHz dan menambahkan bandwidth 5 MHz pada frekuensi 900 MHz serta bandwidth 20 MHz pada frekuensi 2300 MHz

3 Keluaran dan Analisis

3.2.1 Analisis Simulasi RSRP



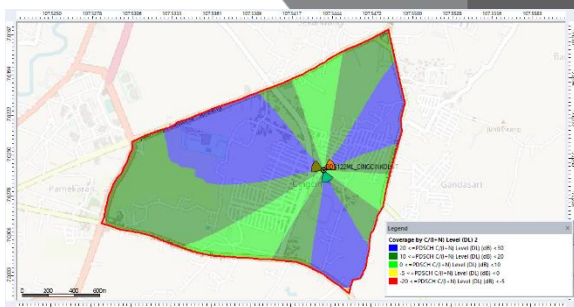
Gambar 3.1 Hasil plotting RSRP skenario tanpa CA



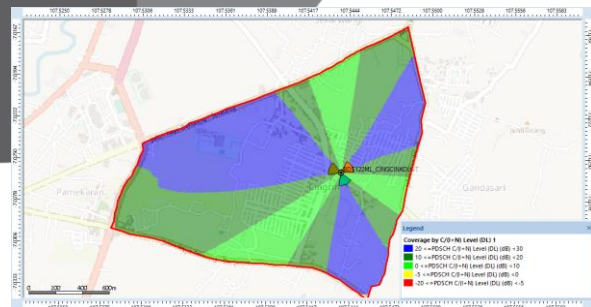
Gambar 3.2 Hasil Plotting RSRP skenario dengan CA

Simulasi parameter RSRP perencanaan jaringan LTE digunakan untuk mengetahui kondisi awal nilai RSRP jaringan LTE site cingcinkolot, hasilnya nilai rata-rata RSRP nya adalah -91,65 dBm, sedangkan setelah ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation dengan konfigurasi CA-3A-8A-40A nilai rata-rata RSRP hasil simulasi meningkat menjadi -83,87 dBm, karena sumber daya penggunaan 3 Component Carrier (CC) lebih besar.

3.2.2 Analisis Simulasi SINR



Gambar 3.3 Hasil Plotting SINR skenario tanpa CA



Gambar 3.4 Hasil Plotting SINR skenario dengan CA

Simulasi parameter SINR perencanaan jaringan LTE digunakan untuk mengetahui kondisi awal nilai SINR jaringan LTE site cingcinkolot, hasilnya nilai rata-rata SINR nya adalah

16,34 dB, sedangkan setelah ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation dengan konfigurasi CA-3A-8A-40A nilai rata-rata SINR hasil simulasi meningkat menjadi 17,1 dB, karena sumber daya penggunaan 3 Component Carrier (CC) lebih besar maka sinyal utama yang dihasilkan atau ditransmisikan juga akan bertambah.

3.2.3 Analisis Simulasi *Throughput*

Tabel 3.1 Peak RLC Channel Throughput

Parameter	Tanpa CA	Tri-band Carrier Aggregation
Peak RLC channel Throughput (Mbps)	108,68	219,9

Simulasi parameter *throughput* perencanaan jaringan LTE digunakan untuk mengetahui kondisi awal nilai *throughput* jaringan LTE site cingcinkolot, hasilnya nilai rata-rata *throughput* nya adalah 108,68 Mbps, nilai tersebut lebih besar dari rata-rata *throughput* site CINGCINKOLOT yaitu 103,8 Mbps. Sedangkan setelah ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation dengan konfigurasi CA-3A-8A-40A nilai rata-rata *throughput* hasil simulasi meningkat menjadi 219,9 Mbps, karena total bandwidth yang digunakan meningkat dari 15 MHz menjadi 40 MHz, peningkatan jumlah bandwidth dihasilkan dari penggunaan 3 Component Carrier (CC).

3.2.4 Analisis Presentase Beban Trafik

Tabel 3.2 Hasil Presentase Beban Trafik *Resource Block*

Site	<i>Physical Resource Block</i>	
	<i>Before</i>	<i>After</i>
Cingcinkolot	94,50%	35,44%

Pada tabel 4.5 menunjukkan presentase punggungan PRB, dimana berdasarkan perhitungan pada persamaan 2.25 pada kondisi *traffic load (DL)* yang sama, didapat untuk presentase *before* menunjukkan PRB yang tinggi pada kondisi awal jaringan atau sesuai dengan kondisi eksisting, dan untuk presentase *after* terjadi penurunan presentase PRB setelah penambahan fitur tri-band carrier aggregation, sehingga dapat menjaga trafik yang tinggi agar tetap stabil walaupun terjadi peningkatan pada sisi kapasitas jaringan tersebut.

3.3 Ringkasan Analisis Hasil simulasi

Tabel 3.3 Nilai Parameter Hasil Simulasi

Parameter	Tanpa CA	Tri-band Carrier Aggregation
RSRP (dBm)	-94,65	-86,87
SINR (dB)	15,8	16,7
Throughput (Mbps)	106,4	221,18

Berdasarkan nilai parameter hasil simulasi pada tabel diatas, nilai parameter baik dari sisi *coverage* yaitu RSRP dan SINR, serta dari sisi *capacity* yaitu *throughput* memenuhi standar KPI operator Telkomsel dan terjadi peningkatan performansi dari penambahan fitur tri-band carrier aggregation.

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pada Proyek Akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Menurut hasil perhitungan *coverage planning* jumlah kebutuhan site untuk mencakup daerah desa cingcin kecamatan soreang adalah sebanyak 1 site, sedangkan dari perhitungan *capacity planning* dengan menghitung jumlah pelanggan maka site yang ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation adalah site cingcinkolot karena untuk memenuhi trafik pelanggan dan meningkatkan *capacity* pelanggan serta *throughput* user atau pelanggan.
2. Nilai parameter dari sisi coverage yaitu RSRP hasil simulasi perencanaan jaringan LTE dan LTE Advanced masing-masing telah memenuhi standar KPI operator Telkomsel yaitu $80\% \geq -110$ dBm, tetapi nilai RSRP terbaik didapatkan dari hasil simulasi jaringan LTE Advanced karena dengan ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation.
3. Nilai parameter dari sisi coverage SINR hasil simulasi perencanaan jaringan LTE dan LTE Advanced masing-masing telah memenuhi standar KPI operator Telkomsel yaitu $80\% \geq 0$ dB, tetapi nilai SINR terbaik didapatkan dari hasil simulasi jaringan LTE Advanced karena dengan ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation.
4. Nilai parameter dari sisi *capacity* yaitu *Throughput* rata-rata hasil simulasi perencanaan jaringan LTE dan LTE Advanced masing-masing lebih besar dari rata-rata *throughput* site CINGCINKOLOT yaitu 103,8 Mbps. *Throughput* rata-rata terbaik didapatkan dari hasil simulasi jaringan LTE Advanced karena dengan ditambahkan fitur tri-band carrier aggregation maka menambah bandwidth sebesar 25 MHz sehingga dapat meningkatkan *Throughput*.
5. Berdasarkan nilai parameter hasil simulasi, secara keseluruhan perencanaan jaringan LTE Advanced di desa cingcin kecamatan soreang memiliki performansi yang layak sesuai dengan standar KPI operator Telkomsel.

4.2 Saran

Terdapat beberapa hal yang disarankan untuk dapat dilakukan dimasa mendatang, yaitu sebagai berikut

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan frekuensi lain baik sebagai *primary cell* maupun *secondary cell* untuk dibandingkan dengan hasil penelitian proyek akhir ini.
2. Penelitian selanjutnya menggunakan spesifikasi perangkat vendor lain atau spesifikasi perangkat yang lebih baru kedepannya.

Daftar pustaka

- [1] Mubarok, Arif. 2017. *Perencanaan Jaringan LTE-Advance Menggunakan Metode Inter-Band Carrier Aggregation di Kota Bandung*. Bandung. Universitas Telkom.
- [2] Kartikaningtyas, Rmania. 2017. *Analisis Perencanaan LTE Release 12 Menggunakan Tri-Band Carrier Aggregation Deployment Scenario di Kota Bandung*. Bandung. Universitas Telkom.
- [3] Rizqullah, Zulyano. 2018. *Perancangan dan Analisis Performansi Jaringan LTE-Advance Menggunakan Fitur Carrier Aggregation di Kota Bandung*. Bandung. Universitas Telkom.
- [4] 4GAmericas. (2014). *LTE Carrier Aggregation Technology Development and Deployment Worldwide*. 4GAmericas.
- [5] Huawei technologies, “.LTE Radio Network Coverage Dimensioning”, Huawei, 2010.

- [6] Huawei technologies, “.LTE Radio Network Capacity Dimensioning”, Huawei, 2010.
- [7] Huawei Technologies, “LTE Radio Network Planning”, Huawei, 2010.
- [8] 4G Americas (2014). 3gpp technology evolution.
- [9] P. Ryan Widhi, I. Dalinar Kurnia Putra, and A. Ghony Fattah Ifur, *4G LTE ADVANCED FOR BEGINNER & CONSULTANT*. Depok: Prandia Self Publishing, 2017.
- [10] X. Chen, “Analysis of the Impact of TD-LTE on Mobile Broadband,” 2013.
- [11] a Z. Yonis, M. F. L. Abdullah, and M. F. Ghanim, “LTE-FDD and LTE-TDD for Cellular Communications,” *Prog. Electromagn. Res. Symp. Proc.*, no. November 2014, pp. 1467–1471, 2012.
- [12] [Niviuk.free.fr/lte_band.php](http://niviuk.free.fr/lte_band.php)
- [13] <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>
- [14] <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-Advanced-Architecture-and-protocol-stack.html>
- [15] Sauter, Martin (24 Maret 2012). From GSM to LTE: an introduction to mobile networks and mobile broadband. A John Wiley and Sons.pp.205- 274.
- [16] Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan (24 Maret 2012). 4G LTE/LTE-Advance for Mobile Broadband. Elsevier.
- [17] Radiah Hamdah, “Analisis Performansi Penerapan Carrier Aggregation dengan Perbandingan Skenario Secondary Cell pada Perancangan Jaringan LTE -Advance di Jakarta” Universitas Telkom, 2015.