

PERBANDINGAN SIMULASI PERFORMA JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN FITUR
INTER-BAND CARRIER AGGREGATION DI AREA LEMBANG

COMPARISON OF LTE-ADVANCED NETWORK PERFORMANCE SIMULATION USING INTER-BAND
CARRIER AGGREGATION FEATURES IN LEMBANG AREA

Kamelia Sagita Firdaus¹, Hafidudin², M.Taopik Hidayatulloh³

^{1,2}Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹kameliasagita@student.telkomuniversity.ac.id,

²hafidudin@tass.telkomuniversity.ac.id, ³muhammadtaopik@gmail.com

Abstrak

Daerah Kabupaten Bandung Barat, khususnya daerah Lembang merupakan tujuan wisata yang ramai dikunjungi wisatawan. Di daerah ini terdapat beberapa wisata unggulan seperti Farm House, Taman Kardus, Green Forest, Amazing Art World dan masih banyak lainnya yang setiap harinya ramai di datangi wisatawan. Kebutuhan akan layanan komunikasi suara dan data sangat di butuhkan di daerah ini. Berdasarkan hasil survei, diperoleh RSRP sebesar -102.21 dBm, SINR sebesar <5 dB, dan diperoleh *average low throughput* sebesar 15750.31 kbit/s.

Pada proyek akhir ini dilakukan perencanaan peningkatan performansi jaringan LTE-Advanced di wilayah Lembang menggunakan standar operator Telkomsel. Metode yang digunakan adalah metode *Carrier Aggregation* di *band 8* dan *band 40* dengan dua pendekatan yaitu *capacity planning* dan *coverage planning*. Dalam proses perencanaan, dilakukan simulasi dengan menggunakan software Atoll 3.3 serta parameter LTE yang diukur dan dianalisis yaitu RSRP, SINR dan *throughput*.

Hasil dari simulasi penerapan *interband carrier aggregation* dengan memperhatikan *before* berdasarkan skenario yang ditentukan dalam proyek akhir ini, yaitu adanya peningkatan pada skenario 1 nilai rata-rata RSRP sebesar -97.22 dBm, SINR sebesar 6.11 dB, dan *throughput* sebesar 31.915 Mbps.

Kata Kunci: *RSRP, SINR, carrier aggregation, coverage planning, coverage planning, throughput.*

Abstract

The area of West Bandung Regency, especially the Lembang area is a tourist destination that is crowded with tourists. In this area, there are several excellent tours such as Farm House, Cardboard Park, Green Forest, Amazing Art World and many others that are visited by tourists every day. The need for voice and data communication services is very much needed in this area. Based on the survey results, an RSRP of -102.21 dBm was obtained, SINR of <5 dB, and a low throughput average of 15750.31 kbit / s was obtained.

This final project a plan to improve LTE-Advanced network performance in the Lembang area is carried out using Telkomsel operator standards. The method used is the Inter-band Carrier Aggregation method in band 8 (1800 MHz) and band 40 (2300 MHz) with two approaches, namely capacity planning, and coverage planning. In the planning process, it is simulated using Atoll 3.3 software and LTE parameters measured and analyzed, namely RSRP, SINR, and throughput.

Results of the simulation of the implementation of interband carrier aggregation by considering the initial network based on the scenarios specified in this final project, namely an increase in scenario 1 the average RSRP value of -97.22 dBm, SINR of 6.11 dB, and throughput of 31,915 Mbps.

Keywords: *RSRP, SINR, carrier aggregation, coverage planning, coverage planning, throughput.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi seluler semakin berkembang karena kebutuhan *user* yang semakin meningkat khususnya teknologi seluler berbasis *wireless*. Semakin banyak user maka semakin besar akses data-data yang tinggi, dimana saja dan kapan saja. Saat ini, *user* tidak hanya menggunakan perangkatnya untuk panggilan suara saja tetapi juga menggunakannya untuk berbagai macam layanan data seperti, *browsing*, *chatting*, *video streaming*, *video call*, dan lain sebagainya. Maka dari itu teknologi seluler dituntut untuk meningkatkan kapasitas untuk melayani user, kualitas layanan dengan data rate yang tinggi, dan *bandwidth* yang besar.

Di Indonesia, jaringan 4G LTE belum sepenuhnya merata kesetiap daerah. Saat ini hanya kota-kota besar yang sudah ter-*cover* layanan ini. Lembang merupakan tujuan wisata yang ramai dikunjungi wisatawan dari berbagai kota. Dilokasi ini terdapat beberapa wisata seperti Farm House, Taman Kardus, Green Forest, Amazing Art World, Imah Seniman dan masih banyak lainnya. Wisata-wisata ini menjadi salah satu potensial market bagi operator telekomunikasi. Namun didapatkan performa jaringan di daerah Lembang belum dikatakan baik. Oleh karena itu perlu adanya peningkatan kualitas layanan *data rate* yang tinggi, dan *bandwidth* yang besar. Berdasarkan hasil *drive test* sebelumnya, diperoleh permasalahan nilai rata-rata RSRP adalah -102.21 dBm, nilai rata-rata SINR < 5 dB, dan didapat nilai rata-rata *throughput* data 15750.31 kbit/s.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan perencanaan peningkatan performa yang memaksimalkan jaringan LTE-A di wilayah Lembang menggunakan standar operator Telkomsel. Metode yang digunakan adalah metode *Carrier Aggregation* di *band 3* dan *band 40* dengan dua pendekatan yaitu *coverage planning* dan *capacity planning* di daerah studi kasus Kecamatan Lembang. Terdapat beberapa parameter yang akan diukur dan dianalisis dalam performa jaringan LTE-A ini, yaitu *Reference Signal Receiver Power* (RSRP), *Signal to Noise Rattio* (SINR), dan *Throughput*.

2. Dasar Teori

2.1 Long Term Evolution (LTE)

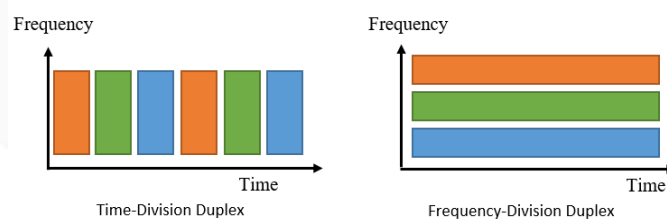
Long Term Evolution (LTE) merupakan sebuah nama yang diberikan pada sebuah project dari *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standart teknologi generasi sebelumnya yaitu generasi ketiga (3G) yaitu UMTS WCDMA. Teknologi LTE merupakan generasi keempat (4G) yang merupakan pengembangan teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSDPA (3,5G). Teknologi ini mampu memberikan kecepatan data hingga mencapai 300 Mbps pada sisi *downlink* dan 75 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu, LTE mampu mendukung aplikasi secara umum seperti layanan *voice*, *data*, *video* termasuk *IP TV*. Layanan-layanan yang ditawarkan *full IP based*^[7].

2.2 LTE-Advanced (LTE-A)

LTE-Advanced merupakan istilah yang digunakan untuk versi LTE yang membahas persyaratan lanjutan IMT, seperti yang ditentukan pada 3GPP Release 10 dan seterusnya. *LTE-Advanced* merupakan pengembangan lanjutan dari teknologi LTE yang memungkinkan jaringan memiliki pencapaian *coverage area* yang lebih besar, lebih stabil dan lebih cepat. Biasanya pengembangan ini dicapai dengan penggunaan teknik multi antena (MIMO), penggunaan *Carrier Aggregation*., dan penambahan *Relay Nodes*^[7].

2.3 Konsep Duplexing

LTE menetapkan dua mode FDD (*Frequency Division Duplex*) dan TDD (*Time Division Duplex*) duplek. FDD menggunakan sumber daya spektrum berpasangan, dimana spektrum sumber daya dibagi menjadi dua pita identik antara pensinyalan *uplink* dan *downlink*. Sedangkan TDD tidak memerlukan spektrum berpasangan, karena akan menetapkan semua *band* untuk *uplink* dan *downlink*, sistem TDD membagi waktunya berdasarkan sumberdaya, serta mudah berganti operasi sistem antara mode *uplink* dan *downlink*. Pada TDD transmisi *uplink* dan *downlink* menggunakan frekuensi yang sama, maka pada sistem ini menetapkan sebuah *guard period* antara *uplink timeslot* dan *downlink timeslot* berguna untuk mencegah terjadinya interferensi antara transmisi *downlink* dan *uplink*^[5].



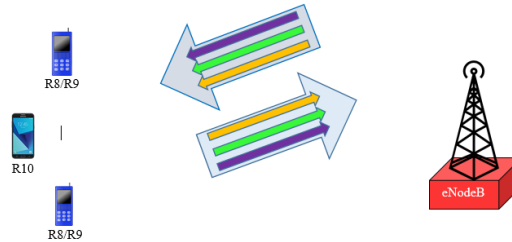
Gambar 2. 1 Duplexing TDD & FDD

2.4 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation adalah suatu teknik penggunaan dua atau lebih frekuensi *carrier* secara bersamaan baik pada *band* frekuensi yang sama maupun berbeda untuk memperbesar penggunaan *bandwidth*. Dengan memperbesar penggunaan *bandwidth* peningkatan kapasitas jaringan dapat terjadi. Setiap *aggregated carrier* disebut sebagai *component carrier* (CC). CC dapat memiliki *bandwidth* 1,4, 3, 5, 10, 15 atau 20 MHz dengan maksimal lima CC yang dapat di agregasikan sehingga *bandwidth* maksimum yang dapat dihasilkan adalah 100 MHz^[7].

2.4.1 Carrier aggregation Spectrum Scenario

Carrier aggregation (CA) dapat digunakan pada teknologi FDD maupun TDD. Dalam pengaturan *carrier aggregation* ini dapat implementasikan baik pada frekuensi band dan *bandwidth* yang sama maupun berbeda^[7]. Secara umum memiliki tiga fitur yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Carrier Aggregation

a. Intra-band Contiguous CA

Bentuk *carrier aggregation* menggunakan *single band*. Ini adalah bentuk paling sederhana dari operator LTE untuk melaksanakan agregasi. Di sini frekuensi yang dimiliki operator berdekatan satu sama lain. Jarak antara frekuensi CC (*component carrier*) pertama dan CC (*component carrier*) kedua saling bersebelahan (*contiguos*).

b. Intra-band Non-Contiguous CA

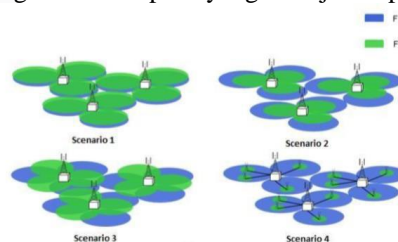
Bentuk *carrier aggregation* yang diagregasi terletak pada band yang sama namun letaknya tidak bersebelahan (*non contiguos*) terdapat jarak band antara CC (*component carrier*) pertama dan CC (*component carrier*) kedua.

c. Inter-band Non-Contiguous CA.

Bentuk *carrier aggregation* yang diagregasi terletak pada band yang berbeda, CC (*component carrier*) pertama dan CC (*component carrier*) kedua tidak bersebelahan dan berbeda band frekuensi (*interband*).

2.4.2 Carrier aggregation Deployment Scenario

Carrier aggregation (CA) dapat digunakan pada teknologi FDD maupun TDD. Dalam pengaturan *carrier aggregation* ini dapat implementasikan baik pada frekuensi band dan *bandwidth* yang sama maupun berbeda^[7]. Secara umum memiliki tiga fitur yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2. 3 Carrier aggregation Deployment Scenario

2.4.3 Kelebihan Carrier Aggregation

Carrier aggregation adalah cara efektif dalam menggabungkan spektrum frekuensi yang dimiliki operator. CA memiliki beberapa keuntungan dalam implementasinya^{[1][8]}, yaitu sebagai berikut :

1. *Higher speed*
2. *Capacity gain user*
3. Mengoptimalkan penggunaan spektrum yang dimiliki operator.
4. Agregasi spektrum frekuensi LTE-*Unlicensed* pada penggunaan spektrum baru pada operator.

2.5 Perencanaan Berdasarkan Capacity

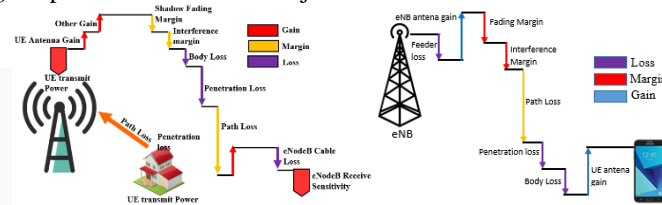
Perencanaan berdasarkan kapasitas dilakukan untuk melakukan perencanaan yang mengutamakan terpenuhinya kebutuhan trafik pengguna. Estimasi jumlah pelanggan di beberapa daerah Lembang ditunjukkan Tabel 2.1 dibawah ini. Data tersebut didapatkan dari Dinas Pariwisata & Kebudayaan Kab. Bandung Barat (Disbudpar) tahun 2019.

Tabel 2. 1 *Ploting site name dan transmitter*

SITE NAME	Band Frequency
KPBATUREOGML	Band 3
DSJAYAGIRIML	Band 3
KPBABAKANPARONGPONGDMTML	Band 3
PASIRWANGIML	Band 40
PAMECALANML	Band 40
KPBONGKARML	Band 40

2.6 Perencanaan Berdasarkan Coverage

Coverage planning merupakan metode perencanaan jaringan seluler untuk memastikan jaringan dapat memberikan layanan/signal pada seluruh daerah tinjauan.



Gambar 2. 4 Link Budget Downlink dan Uplink

Terdapat beberapa persamaan yang digunakan untuk melakukan perencanaan perluasan berdasarkan coverage yaitu:

$$\text{MAPL(dB)} = \text{EIRP/subcarrier (dBm)} - \text{Min Signal Reception (dBm)} - \text{Penetration loss (dB)} - \text{Shadow Fade Margin(dB)}$$

$$\text{EIRP/subcarrier (dBm)} = \text{Subcarrier Power (dBm)} + \text{Tx Antenna Gain (dBi)} - \text{Tx cable loss (dB)} - \text{Tx body loss (dB)}$$

$$\text{Subcarrier Power (dBm)} = \text{Max Total Tx Power (dBm)} - 10 \log(\text{The Number of Subcarriers to Distribute Power})$$

$$\text{Min Signal Reception (dBm)} = \text{Rx Sensitivity (dBm)} - \text{Rx Antenna Gain (dBi)} + \text{Rx Cable Loss (dB)} + \text{Rx Body Loss (dB)} + \text{Margin}$$

$$\text{Receiver Sensitivity (dBm)} = \text{Thermal noise per subcarrier (dBm)} + \text{Noise figure of eNodeB (dB)} + \text{Required SINR (dB)}$$

$$\text{Thermal noise per subcarrier} = 10 \log(K \times T \times W)$$

$$\text{Luas cell} = 1.95 \times d^2$$

$$\text{ELTE} = \text{Luas area} / \text{Luas cell}$$

2.7 Model Propagasi

Perhitungan dari *link budget* pada arah *downlink* dan *uplink* menghasilkan nilai *pathloss* maksimum (MAPL) yang dapat diterima selama proses transmisi sinyal. Model propagasi digunakan untuk menghitung jari-jari sektor dan dapat diketahui dengan memasukkan nilai MAPL ke dalam persamaan model propagasi yang diinginkan^[15]. Model propagasi yang digunakan dalam Proyek Akhir ini yaitu Cost Hata-231. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut.

Persamaan Cost Hata-231 :

$$a(hm) = (1,1 \log F - 0,7) h_r - (1,56 \log F - 0,8)$$

$$PL = 46,3 + 33,9 (\log F) - 13,82 \log H_b - a(hm) + (44,9 - 6,55 \log H_b) \log d + cm$$

2.8 Key Performance Indicator

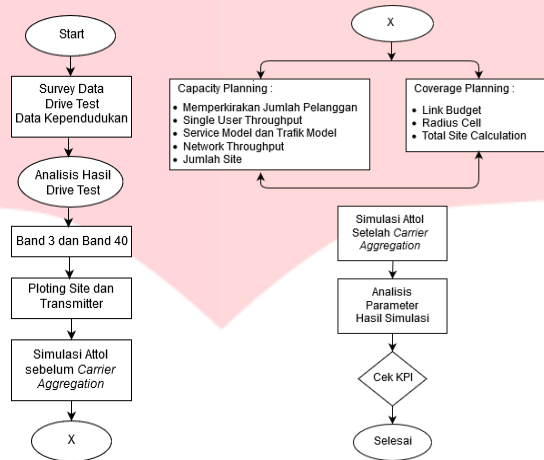
Key Performance Indicator (KPI) berisi parameter-parameter yang merupakan indikator untuk menentukan performa suatu jaringan. Pada masing-masing parameter tersebut mempunyai target KPI yang harus dicapai untuk memenuhi kualitas jaringan.

3. Model Sistem

Pada Jurnal ini dilakukan analisis penerapan metode *interband carrier aggregation* pada jaringan LTE-Advanced untuk meningkatkan *capacity gain* di daerah Lembang. Dengan menggunakan frekuensi LTE 1800 MHz dan frekuensi LTE 2300 MHz yang dimiliki oleh operator terkait. Dengan penerapan *Carrier Aggregation* dapat menghasilkan kualitas jaringan yang baik berdasarkan tiga parameter yaitu RSRP, SINR, dan *throughput* serta untuk meningkatkan kapasitas sumber daya yang dimiliki oleh operator.

Pengerjaan proyek akhir ini akan dilakukan secara sistematis berdasarkan alir pengerjaan pada Gambar 3.1 dibawah. Simulasi proyek akhir ini dilakukan dengan menggunakan *software Atoll 3.3* dengan memperhatikan *capacity planning* dan *coverage planning*.

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Flowchart Pengerjaan Proyek Akhir

3.2 Perencanaan Peningkatan Kapasitas

3.2.1 Spesifikasi Carrier Aggregation

Dalam meningkatkan kapasitas, seperti yang sudah dijelaskan pada latar belakang yaitu memaksimalkan sumber daya yang dimiliki oleh operator. Pada pengerjaan proyek akhir ini digunakan *band 3* dan *band 40*. Berikut merupakan Tabel 3.1 spesifikasi perencanaan penerapan *carrier aggregation*.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Carrier Aggregation

PENERAPAN CARRIER AGGREGATION	
Carrier Aggregation	Interband Carrier Aggregation
Klasifikasi Wilayah	Urban
Frequency Band	3 dan 40
Cell	6 Cell
Electrical tilt	2 - 6 tilt
Mechanical tilt	0 - 2
Daya	43
Tinggi Antena	37 – 40

3.3 Skenario Perencanaan

Pada Proyek Akhir dilakukan analisis penerapan metode *interband carrier aggregation* pada jaringan LTE-Advanced untuk meningkatkan *capacity gain* di daerah Lembang. Dengan menggunakan frekuensi LTE 1800 MHz dan frekuensi LTE 2300 MHz yang dimiliki oleh operator terkait. Dengan penerapan *Carrier Aggregation* dapat menghasilkan kualitas jaringan yang baik berdasarkan tiga parameter yaitu RSRP, SINR, dan *throughput* serta untuk meningkatkan kapasitas sumber daya yang dimiliki oleh operator.

3.4 Capacity Planning

3.4.1 Forecasting Jumlah Pelanggan

- Total Pengunjung wisatawan Lembang = 20225 jiwa
- Pelanggan Operator LTE-A = 6068 jiwa
- Density = 1627 jiwa/km²

3.4.2 Average SINR 1800 MHz dan 2300 MHz Distribution

Tabel 3. 2 dibawah ini menunjukkan jumlah *cell average throughput* dalam satu *cell* sesuai dengan *bandwidth* yang digunakan.

Tabel 3. 2 Average SINR 1800

Modulation	Code bit	Code rate	SINR (min) (dB)	SINR Probability	DL cell throughput (Mbps) (Rn)	DL cell average throughput	UL throughput (Mbps) (Rn)	UL cell average throughput
QPSK	2	1/3	-1.5 - 0.3	0.28	32.0	9.0	38.4	10.8
QPSK	2	1/2	0.3 - 2	0.25	48.0	12.0	57.6	14.4
QPSK	2	2/3	2 - 4.5	0.17	64.0	10.9	76.8	13.1
16 QAM	4	1/2	4.5 - 6	0.13	96.0	12.5	115.2	15.0
16 QAM	4	2/3	6 - 8.5	0.1	128.0	12.8	153.6	15.4
16 QAM	4	4/6	8.5 - 10.8	0.05	153.6	7.7	184.3	9.2
64 QAM	6	1/2	10.8 - 12.5	0.01	144.0	1.4	172.8	1.7
64 QAM	6	2/3	12.5 - 13.5	0.01	192.0	1.9	230.4	2.3
Average throughput (Mbps) □ (Pn x Rn)						68,2 Mbps		81,8 Mbps

Tabel 3. 3 Average SINR 2300

Modulation	Code Bit	Code Rate	SINR (min)(dB)	SINR Probability (Pn)	UL Cell Throughput (Mbps)(Rn)	DL Cell Throughput (Mbps)(Rn)	UL Cell Average Throughput (kbps)	DL Cell Average Throughput (kbps)
QPSK 1/3	2	0.3	-1,5-0.3	0.29	4.7	16.5	1.378	4.802
QPSK 1/2	2	0.43	0,3-2	0.27	6.8	27.8	1.839	7.523
QPSK 3/5	2	0.58	2-4,5	0.19	9.1	37.5	1.745	7.140
16 QAM 1/3	4	0.36	4,5-6	0.15	11.4	46.6	1.710	6.998
16 QAM 1/2	4	0.47	6-8,5	0.14	14.8	60.9	2.084	8.537
16 QAM 3/5	4	0.6	8,5-10,8	0.09	19.0	77.7	1.710	6.998
64 QAM 1/2	6	0.45	10,8-12,5	0.06	21.3	87.4	1.283	5.248
64 QAM 3/5	6	0.65	12,5-13,5	0.05	30.8	126.3	1.544	6.317
Average throughput (Mbps) □ (Pn x Rn)							13.296	53.557

3.4.3 Cell Calculation

Jumlah cell berdasarkan capacity dengan mempertimbangkan luas ara, jumlah user, *network throughput* dan *cell average* didapatkan 3 cell LTE-A.

Tabel 3. 4 Cell Calculation

Item	Urban LTE		Urban LTE-Advanced	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
User	20225		6068	
Network Throughput (Mbps)	199.661	753.806	59.898	226.142
Mac Layer	203.736	769.190	61.121	230.757
Cell Average throughput (Mbps)	81.8	68.2	163.6	136.4
Site Capacity (Mbps)	245.4	204.6	490.8	409.2
Number of cell	3	12	-	3
Number of User Per Cell	6741.666667	1685.416667	-	2022.5
Number of site	1	4	-	1

3.5 Coverage Planning

3.5.1 Maximum Allowable Pathloss (MAPL)

MAPL (*Maximum Allowable Pathloss*) merupakan nilai maximum *loss* yang diperbolehkan untuk arah *uplink* disetiap *user*, sehingga ketika *user* mengalami *loss* lebih kecil dari yang sudah diperhitungkan maka *user* masih dapat mengakses layanan. Tabel 3.5 didapatkan nilai *maximum allowable path loss* berdasarkan morfologi daerah urban. Kemudian nilai MAPL tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan model propagasi sesuai dengan pemodelan propagasi yang digunakan yaitu *Cost-231 Model*.

Tabel 3. 5 *Maximum Allowable Pathloss*

Link Budget for Maximum Allowed Pathloss			
Link Budget	Calculation	COST-231 (Urban)	
		DL	UL
Transmitter (Tx)			
Max Power(dBm)	A	43	23
RB to Distributed	B	60	3
Subcarrier to Distributed Power	$C=12*B$	720	36
Subcarrier Power (dBm)	$D=A-10*\text{Log}(C)$	1,442,668	7.436974992
Tx Antenna Gain (dBi)	E	18	0
Tx Cable Loss (dB)	F	0	0
Tx Body Loss (dB)	G	0	0
EIRP per Subcarrier (dBm)	$H=D+E-F-G$	32.42668	7.436974992
Receiver (Rx)			
SINR (dB)	I	-4	-4
Noise Figure (dB)	J	7	3.5
Rx Sensitivity (dBm)	$K=I+J-174+10\text{Log}(15*1000)$	-139.2391	-142.739087
Rx Antenna Gain (dBi)	L	0	18
Rx Cable Loss (dB)	M	0	0.5
Rx Body Loss (dB)	N	0	0
Interference Margin (dB)	O	8	2
Min Signal Reception Strength (dBm)	$P=K-L+M+N-O$	-131.2391	-123.239087
PathLoss & Shadow fading Margin (dB)			
Indoor Penetration Loss (dBm)	Q	16	16
Shadow Fading Margin (dB)	R	8	4
Maximum Allowed Path Loss (dB)	$S=H-P-Q-R$	139.6158	130.1760624

4. Pembahasan

Simulasi perapan *interband CA* untuk meningkatkan kapasitas di daerah Lembang dilakukan untuk menguji hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, dimana *coverage planning* akan menjadi acuan penentuan radius sel dan *capacity planning* akan menjadi acuan penentuan kapasitas sel. Simulasi penerapan *interband CA* ini dilakukan menggunakan bantuan *software Atoll 3.3*.

Kemudian, simulasi *interband CA* ini dilakukan dengan memperhatikan kondisi *before* jaringan serta 2 skenario yang telah ditentukan. Skenario pertama dilakukan berdasarkan skema konfigurasi CA_3A_40A dengan 2 CC dan CA_40A-3A dengan 2 CC. Hasil simulasi ini akan dibandingkan dan dianalisis dengan memperhatikan parameter RSRP, SINR, *throughput*.

4.1 Hasil Akhir Simulasi

Berikut ini Tabel 4.1 menunjukkan hasil akhir simulasi penerapan metode *interband carrier aggregation* yang telah dilakukan berdasarkan kondisi awal jaringan dan 2 skenario konfigurasi berbeda.

Tabel 4.1 Hasil Akhir Simulasi

HASIL SIMULASI SKENARIO			
SIMULASI	RSRP (dBm)	SINR (dB)	THROUGHPUT (Mbps)
Before CA	-104.05	1.99	21.74
CA_3A_40A	-97.22	6.11	31.91
CA_40A_3A	-96.86	2.39	22.96

Pada Tabel 4.1 diatas ditunjukkan nilai parameter hasil akhir dari simulasi peningkatan kapasitas yang dilakukan di wilayah Lembang. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, menurut operator disarankan memiliki *traffic load* (DL) sebesar 60%. Hasil CA *interband* pada skenario 1 dengan konfigurasi CA_3A_40A dengan 2 CC, didapatkan rata-rata nilai RSRP sebesar -97.22 dBm, rata-rata nilai SINR sebesar 6.11 dB, dan rata-rata nilai *Throughput* sebesar 31.91 Mbps. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan rata-rata nilai pada semua parameter. Hasil penerapan CA *interband* pada skenario 2 dengan konfigurasi CA_40A_3A dengan 2 CC didapatkan rata-rata nilai RSRP sebesar -96.86 dBm, rata-rata nilai SINR sebesar 2.39 dB, dan rata-rata nilai *Throughput* sebesar 22.96 Mbps. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan rata-rata nilai pada RSRP, namun terjadi penurunan rata-rata nilai pada parameter SINR dan *throughput*

4.2 Hasil Akhir Simulasi

Berikut ini Tabel 4.2 menunjukkan hasil akhir target KPI simulasi penerapan metode *interband carrier aggregation* yang telah dilakukan berdasarkan kondisi awal jaringan dan 2 skenario konfigurasi berbeda.

Tabel 4.2 Hasil Akhir Simulasi KPI

HASIL AKHIR SIMULASI TARGET KPI			
SIMULASI	RSRP (dBm) >-105 dBm (%)	SINR (dB) >5 dB (%)	THROUGHPUT >5 Mbps (%)
Before CA	31.4	34.89	97.21
CA_3A_40A	65.44	53.45	98.71
CA_40A_3A	66.33	36.79	97.81

Pada Tabel 4.2 diatas menunjukkan hasil akhir simulasi penerapan *interband carrier aggregation* yang berisi perbandingan parameter dalam satuan persentase dengan target KPI. Hasil penerapan CA *interband* pada skenario 1 dengan konfigurasi CA_3A_40A dengan nilai persentase RSRP sebesar 65.44% yang lebih dari -105 dBm, nilai persentase SINR sebesar 53.4 % lebih dari 5 dB, dan nilai persentase *Throughput* sebesar 98.71% lebih dari 5 Mbps. Kemudian untuk hasil penerapan CA *interband* pada skenario 2 dengan konfigurasi CA_40_3A dengan nilai persentase RSRP sebesar 66.33% yang lebih dari -105 dBm, nilai persentase SINR sebesar 36.79% lebih dari 5 dB, dan nilai persentase *Throughput* sebesar 97.81% lebih dari 5 Mbps. Hasil dari kedua skenario tersebut dapat meningkatkan semua nilai parameter dari kondisi *before*. Berdasarkan hasil simulasi peningkatan kapasitas yang telah dilakukan, skenario yang lebih baik diimplementasikan pada wilayah Lembang adalah penerapan *interband carrier aggregation* menggunakan konfigurasi CA_3A_40A dengan 2 CC. Hal ini didasarkan pada pertimbangan kondisi jaringan yang lebih baik dengan penggunaan sumber daya yang dimiliki oleh operator, serta kualitas yang lebih baik dengan nilai presentase 53.45 %.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil simulasi pada skenario 1 dan skenario 2 yang telah dilakukan, dimana pada skenario 1 dengan konfigurasi CA_3A_40A dengan 2 CC mampu meningkatkan nilai rata-rata RSRP sebesar -97.22 dBm, SINR sebesar 6.11 dB, dan *throughput* sebesar 31.915 Mbps, sementara pada skenario 2 dengan konfigurasi CA_40A_3A dengan 2 CC mampu meningkatkan kualitas dibandingkan kondisi *before* namun lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi skenario 1, dimana didapatkan nilai rata-rata RSRP sebesar -96.86 dBm, SINR sebesar 2.39 dB, dan *throughput* sebesar 22.962 Mbps.
- Berdasarkan hasil simulasi pada skenario 1 dan skenario 2 yang telah dilakukan, untuk nilai RF parameter dimana dari penggunaan *interband carrier aggregation* adanya peningkatan presentase target KPI yang telah ditetapkan oleh operator, didapatkan peningkatan presentase pada konfigurasi CA_3A_40A untuk parameter RSRP > -100 dBm yaitu 65,44 %, SINR > 5 dB yaitu 90 % dan *throughput* > 5 Mbps yaitu 80 %. Sementara untuk konfigurasi CA_40A_3A untuk parameter RSRP > -100 dBm yaitu sebesar 66.33 %, SINR > 5 dB yaitu sebesar 90 %, dan *throughput* > 5 Mbps sebesar 97.81 %.

5.2 Saran

Penulis mengharapkan ada pengembangan lebih lanjut atas penelitian ini. Beberapa pengembangan yang penulis sarankan adalah :

- Untuk penelitian selanjutnya diharapkan parameter yang dianalisis dan dilakukan pengoptimalan tidak hanya parameter RSRP, SINR, *Throughput* saja.
- Untuk penelitian selanjutnya penerapan *interband carrier aggregation*, perlu evaluasi penempatan posisi serta ketinggian *site* jika, menggunakan frekuensi rendah sebagai *primary cell*.

Daftar Pustaka

- [1] 4Gamericans. (2014). LTE Carrier Aggregation Technology Development and Deployment Worldwide. 4Gamericans.
- [2] A. Elnashar, M. A. El-saidny and M. R. Sherif, Design, Deployment and Performance of 4GLTE Networks, Chichester: John Wiley & Sons, 2014.
- [3] 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.
- [4] Badan Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Bandung Barat (2019).
- [5] Christopher Cox (2012): Aan Introduction to LTE : LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. Chennai, India.
- [6] Huawei Technologies, "LTE Radio Network Capacity Dimensioning", Huawei 2010
- [7] Ikha Dalinar Kurnia Putra, Panji Ryan Widhi, Abdul Ghony Fattah Ifur. (2017). 4G LTE Advanced For Beginner & Consultant. Depok: Pranadia Self Publishing
- [8] Iskandar and R. Galih, "Throughput evaluation in LTE-Advanced network access using carrier aggregation," *Proceeding 2015 1st Int. Conf. Wirel. Telemat. ICWT 2015*, no. 10, 2016.
- [9] J.N. Sinulingga, A. Wahyudin, M. A. Amanaf, and S. St, "Analisis Perancangan LTE-A Dengan Teknik Carrier Aggregation Interband pada Frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz di Kota Semarang Tengah pp. 634–645, 2018.
- [10] Jeanette Wannstrom for 3GPP. (2013). Carrier Aggregation explained.
- [11] Jyrki T.J. Penttinen.(2016): The LTE-Advanced Deployment Handbook, The Planning Guidelines For The Fourth Generation Networks. Giesecke & Devrient, USA.
- [12] L. Fadlan, "Carrier Aggregation on Planning and Dimensioning LTE-Advanced in Bandung City," pp. 129–133, 2017.
- [13] L. Zeng and Q. Cui, "A Novel Cross-Carrier Scheduling Method in Carrier Aggregation," pp. 312–315.
- [14] Trichy Venkataraman K & Rajaneesh Shetty (2014). 4G :Deployment Strategies and Operational Implications. India.
- [15] Usman, Uke Kurniawan dkk..(2012). Fundamental Teknologi Seluler LTE. Bandung: Rekayasa Sains.
- [1] X. Chen, "Analysis of the Impact of TD-LTE on Mobile Broadband," 2013