

**PERBANDINGAN KINERJA SISTEM LTE-ADVANCED DENGAN PRIORITASISASI
CARRIER AGGREGATION DI INTER-BAND VERSUS DI NTRA-BAND
UNTUK PERENCANAAN BARU DI KOTA JAKARTA BARAT**

**COMPARISON OF LTE-ADVANCED SYSTEM PERFORMANCES
WITH CARRIER AGGREGATION PRIORITY IN INTER-BAND VERSUS IN INTRA-BAND
FOR NEW PLANNING IN THE CITY OF WEST JAKARTA**

Wahyu Kurnia Prihastanto¹, Achmad Ali Muayyadi², Arfianto Fahmi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹lprihastanto@student.telkomuniversity.ac.id

²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id,

³arfiantof@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi *LTE-Advanced* tercipta karena dorongan akan kebutuhan peningkatan nilai throughput di sisi *user* yang merupakan keterbatasan performansi LTE di masa sekarang. Isu tersebut dapat diatasi dengan menggunakan salah satu fitur dari teknologi *LTE-Advanced* yaitu metode *Carrier Aggregation (CA)*, yang dapat meningkatkan kapasitas *bandwidth* transmisi dengan cara menggabungkan dua atau lebih *Component Carrier (CC)*, dimana mengacu pada *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. Terdapat 2 skenario utama pada CA yaitu *Intra-Band* dan *Inter-Band*.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan CA baik *Intra-Band* maupun *Inter-Band* dan mencari skenario terbaik untuk perencanaan jaringan baru di kota Jakarta Barat. Pendekatan *capacity* dan *coverage planning* sekaligus pembagian skenario dilakukan dengan menggunakan ≥ 2 CC pada frekuensi X yaitu 1800 MHz dan Y yaitu 2100 MHz serta batasan konfigurasi CC *Bandwidth* yang bernilai maksimal 20 MHz.

Hasil terbaik perencanaan jaringan yang menggunakan *software Atoll 3.3.0* didapatkan pada pendekatan *capacity planning* dimana rata-rata presentase *user connected* dari semua skenario sebesar 99,3 %, lalu untuk skenario terbaik adalah CA *Inter-Band* pada kedua frekuensi. Perencanaan di frekuensi 1800 MHz memiliki nilai RSRP sebesar -105,4 dBm, CINR sebesar 7,24 dB dan *throughput* sebesar 26,93 Mbps, serta membuktikan peningkatan *throughput* dari Non CA sebesar 7,49 %. Sedangkan perencanaan di frekuensi 2100 MHz memiliki nilai RSRP sebesar -107,68 dBm, CINR sebesar 3,12 dB dan *throughput* sebesar 29,65 Mbps, serta membuktikan peningkatan *throughput* dari Non CA sebesar 9,9 %. Hasil tersebut sudah memenuhi standar sehingga perencanaan ini bisa dikatakan layak.

Kata kunci: *LTE-Advanced, carrier aggregation, Intra-Band, Inter-Band.*

Abstract

LTE Advanced technology was created because of the drive needs to increase the value of throughput on the user side, which is a limitation of LTE performances currently. This issue can be overcome by using one of the features of LTE Advanced technology the Carrier Aggregation (CA) method, which can increase transmission bandwidth capacity by combining two or more Component Carrier (CC), refers to the 3rd Generation Partnership Project (3GPP). There are two main scenarios in CA, namely Intra-Band and Inter-Band.

This Final Project aims to analyze the impact of the use of CA's both Intra-Band and Inter-Band and also to find the best scenario for new network planning in the city of West Jakarta. Approach to coverage and capacity planning as well as scenario configuration is done by using ≥ 2 CC on the X frequency which is 1800 MHz and Y frequency which is 2100 MHz and also the CC's bandwidth configuration limitation with a maximum value of 20 MHz.

The best results of network planning using Atoll 3.3.0 software obtained from capacity planning approach where the average percentage of user connected from all scenarios is 99,3%, in particular, is the Inter-Band CA on both frequencies. Planning results at 1800 MHz frequency has a RSRP value of -105,4 dBm, a CINR value of 7,24 dB and a throughput value of 26,93 Mbps as well as proving an increase from Non-CA to CA throughput percentage of 7,49%. While Planning results at 2100 MHz frequency has a RSRP value of -107,68 dBm, a CINR value of 3,12 dB and a throughput value of 29,65 Mbps as well as proving an increase from Non-CA to CA throughput percentage of 9,9%. These results have met KPI standard, which mean this plan can be considered feasible.

Keyword: *LTE-Advanced, carrier aggregation, Intra-Band, Inter-Band.*

1. Pendahuluan

Mengacu pada data dari Badan Pusat Statistik (BPS) mengenai jumlah pelanggan telepon selular pada tahun 2017 statistik pengguna komunikasi selular di Indonesia mengalami kenaikan tiap tahunnya [1]. Sementara pada tahun 2018 Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) mengeluarkan hasil survei yang berisikan bahwa pengguna internet di Indonesia sebanyak 64,8% dari total populasi penduduk di Indonesia [2]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkat mobilitas dan kebutuhan masyarakat semakin meningkat sehingga membutuhkan komunikasi yang semakin fleksibel dan cepat.

Hal tersebut membuat badan standardisasi *International Mobile Telecommunications- Advanced (IMT-Advanced)* memutuskan untuk membuat standar terbaru untuk layanan komunikasi bergerak dimana target *data rate* mencapai 1 Gb/s untuk mobilitas rendah serta 100 Mb/s untuk mobilitas yang tinggi, dan target inilah yang menjadi standar untuk *LTE Advanced (release 10)* [3]. Pada penelitian sebelumnya membahas mengenai kinerja *carrier aggregation* menggunakan metode *inter-band* serta *intra-band* dengan metode *duplexing* menggunakan *frequency division duplex* serta dua komponen *carrier* dengan frekuensi kerja 1800 MHz dan 2100 MHz di Kota Bandung [5]. Pada penelitian tersebut dihasilkan peningkatan kinerja berdasarkan parameter *signal level* sebesar 3 dB, *block error rate (BLER)* diantara 0.02 – 0.07%, dan rata-rata *throughput* sebesar 43.35 Mbps. Sementara dalam acuan penelitian lain membahas evaluasi *throughput* pada jaringan *LTE Advanced* menggunakan *carrier Aggregation*[6].

Sehingga, pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian mengenai perbandingan kinerja sistem *LTE Advanced* dengan prioritasasi *carrier aggregation* di *intra-band* dan di *inter-band*. Hal ini didasari karena kedua penelitian tersebut menggunakan *component carrier bandwidth* maksimal yang berbeda yaitu 40 MHz dan 30 MHz, serta pengalokasian *component carrier bandwidth* pada sekanrio yang tidak bernilai sama. Sehingga pada Tugas Akhir ini dapat diketahui dampak yang ditimbulkan pada kinerja layanan *LTE Advanced* khususnya terhadap parameter *throughput* di sisi *user* karena merupakan pengembangan penilitian lebih lanjut dari kedua penelitian sebelumnya.

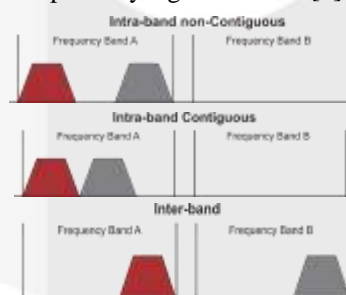
2. Dasar Teori

2.1 Long Term Evolution Advanced (LTE-Advanced)

Pada teknologi *LTE Advanced* sudah mendukung metode *carrier aggregation*, hal ini bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dengan cara menyatukan beberapa komponen *carrier* sehingga dapat menghasilkan *data rate* yang tinggi dengan cara yang lebih efisien. Pokok utama dalam pengembangan *LTE Advanced* meliputi peningkatan *throughput per user*, *spectral efficiency*, *throughput* pada *cell edge* dan pengurangan *cost*[8].

2.2 Konsep Carrier Aggregation

Terdapat beberapa tipe *carrier aggregation*, meskipun demikian *carrier aggregation* memiliki tujuan yang sama yaitu meningkatkan *data rate / throughput* yang dapat diterima pengguna dan penggunaan tipe *carrier aggregation* bergantung pada kebutuhan penyedia layanan, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi. Penggunaan metode *carrier aggregation* memiliki keuntungan seperti penggunaan spektrum frekuensi yang lebih efisien hal ini disebabkan karena operator dapat menggabungkan spektrum frekuensi yang kecil, pemanfaatan spektrum frekuensi yang tidak digunakan seperti dengan memanfaatkan spektrum frekuensi *unlicensed*, peningkatan *data rates / throughput*, dan kapasitas yang lebih besar [4].



Gambar 2. 1 Tipe Carrier Aggregation

2.3 Coverage Planning

Pendekatan perencanaan menggunakan *coverage planning* dilakukan dengan mengestimasi *link budget* (MAPL) mengacu pada model propagasi *cost231*, agar didapatkan nilai radius sel dan jumlah *site*. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut.

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(hb) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log(hb)) \log(d) + C$$

(1)

$$\text{Luas cakupan sel} = 1.95 \times d \times d \quad (2)$$

$$\text{Jumlah site} = \frac{\text{Luas area perencanaan}}{\text{Luas cakupan sel}} \quad (3)$$

2.4 Capacity Planning

Pendekatan perencanaan menggunakan *capacity planning* dilakukan berdasarkan estimasi jumlah user dan kebutuhan trafik suatu wilayah. Secara umum *capacity planning* memiliki dua bagian perhitungan utama, yaitu perhitungan *total network throughput* dan perhitungan *single site capacity*. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut.

$$P_t = P_o(1 + G_f)^n \quad (4)$$

$$SUT = \frac{\sum \left[\left(\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times BHS_A \times PR \times (1 + PAR) \right]}{3600} \quad (5)$$

$$\text{Network Throughput} = \text{Total User} \times SUT \quad (6)$$

$$\text{Network Throughput (MAC)} = \frac{\text{Network Throughput (IP)}}{98\%} \quad (7)$$

$$SSC (UL) = \text{Cell Average Throughput (MAC)} \sum P_n \times (R_n UL) \times 3 \quad (8)$$

$$SSC (DL) = \text{Cell Average Throughput (MAC)} \sum P_n \times (R_n DL) \times 3 \quad (9)$$

$$\text{Number of Site} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} \quad (10)$$

2.5 Radio Frequency Parameters

Reference Signal Received Power (RSRP) merupakan parameter tingkat kekuatan sinyal terima dimana menyatakan besar daya sinyal yang diterima oleh *user equipment* UE (dBm). Semakin jauh jarak antara *site* dan UE, maka semakin kecil nilai RSRP yang diterima oleh UE, begitupula sebaliknya. Adapun persamaan dan standar yang digunakan sebagai berikut.

$$RSRP (dBm) = RSSI - 10 \log(12 \times NR_b) \quad (11)$$

Tabel 2. 1 Standar RSRP

Value (dBm)	Scale	Legend
-80 \geq x	Outstanding	
-90 \geq x < -80	Excellent	
-110 \geq x < -90	Good	
-115 \geq x < -110	Intermediate	
-120 \geq x < -115	Poor	
x < -120	Bad	

Carrier to Interference Noise Ratio (CINR) merupakan parameter perbandingan antara kekuatan sinyal terima dengan sinyal interferensi dimana menyatakan kualitas sinyal yang diterima oleh *user equipment* UE (dB). Semakin banyak *obstacle* antara *site* dan UE, maka semakin kecil nilai CINR yang diterima oleh UE, begitupula sebaliknya. Adapun persamaan dan standar yang digunakan sebagai berikut.

$$CINR (dB) = \frac{C}{I + N} \quad (12)$$

Tabel 2. 2 Standar CINR

Value (dB)	Scale	Legend
-20 \geq x	Outstanding	
8 \geq x < -20	Excellent	
4 \geq x < 8	Good	
0 \geq x < 4	Intermediate	
-5 \geq x < 0	Poor	
x < -5	Bad	

Throughput merupakan nilai aktual terhadap banyaknya data yang berhasil dikirim atau diterima *user* pada sebuah komunikasi. Adapun standar yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Standar *Throughput*

Value (Mbps)	Scale	Legend
$50 \geq x$	Outstanding	
$40 \geq x < 50$	Excellent	
$30 \geq x < 40$	Good	
$20 \geq x < 30$	Intermediate	
$10 \geq x < 20$	Poor	
$x < 10$	Bad	

3. Pembahasan

3.1 Skenario Konfigurasi *Carrier Aggregation*

Tabel 3. 1 Skenario Konfigurasi *Carrier Aggregation*

Nama Skenario	Konfigurasi CA	Frekuensi (MHz)	Bandwidth CC (MHz)	
			PSC	SSC
X	Non CA	1800	20	-
Y	Non CA	2100	20	-
X1	CA Intra-Band	1800	10	10
Y1	CA Intra-Band	2100	10	10
X2	CA Inter-Band	1800	10	-
		2100	-	10
Y2	CA Inter-Band	2100	10	-
		1800	-	10

Skenario konfigurasi CA pada Tabel 3.1 di atas diimplementasikan untuk simulasi terhadap dua pendekatan perencanaan yang digunakan yaitu *coverage planning* dan *capacity planning*. Kemudian hasil kinerja yang didapatkan akan dibandingkan sesuai dengan standar KPI dari masing-masing parameter yang meliputi RSRP, CINR, *throughput* dan *user connected*. Sehingga dapat diketahui dampak penerapan fitur CA sekaligus skenario terbaik dari semua konfigurasi dan pendekatan perencanaan.

3.2 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan

3.3 Identifikasi Wilayah



Gambar 3. 1 *Boundaries* Wilayah Kota Jakarta Barat

Berdasarkan *annual report* Kota Jakarta Barat dalam Angka tahun 2019, dimana Kota Jakarta Barat merupakan wilayah Ibukota Jakarta yang memiliki kriteria khusus sebagai kota metropolitan yang megah dengan banyaknya gedung mewah seperti hotel bintang, plaza, apartemen, gedung perkantoran dan sebagainya. Sehingga tuntutan terhadap kinerja layanan jaringan seluler tinggi, yang membuat penggunaan fitur CA untuk perencanaan jaringan cocok diimplementasikan.

3.4 Radius Sel dan Jumlah Site

Berdasarkan semua proses yang dilakukan, didapatkan nilai radius sel dan jumlah *site* untuk perencanaan di kedua frekuensi berdasarkan kedua pendekatan baik *coverage* maupun *capacity* sebagai berikut.

Tabel 3.2 Pendekatan *Coverage* untuk Frekuensi 1800 MHz(atas) dan 2100 MHz (bawah)

<i>Link</i>	<i>Cell Radius (km)</i>	<i>Coverage Area (km²)</i>	<i>Number of Transmitter</i>	<i>Number of Site</i>
<i>Uplink</i>	1,86	6,75	19,19	7
<i>Downlink</i>	0,93	1,69	76,65	26
<i>Link</i>	<i>Cell Radius (km)</i>	<i>Coverage Area (km²)</i>	<i>Number of Transmitter</i>	<i>Number of Site</i>
<i>Uplink</i>	1,62	5,12	25,3	9
<i>Downlink</i>	0,81	1,28	101,2	34

Tabel 3.2 Pendekatan *Capacity* untuk Frekuensi 1800 MHz(atas) dan 2100 MHz (bawah)

<i>Link</i>	<i>Cell Radius (km)</i>	<i>Number of Site</i>
<i>Uplink</i>	0,85	31
<i>Downlink</i>	0,38	144
<i>Link</i>	<i>Cell Radius (km)</i>	<i>Number of Site</i>
<i>Uplink</i>	0,6	62
<i>Downlink</i>	0,27	262

4. Hasil dan Analisa Perencanaan

Berdasarkan diagram alir perencanaan, dilakukan pemilihan skenario terbaik. Dalam hal ini, skenario terbaik dengan hasil simulasi berdasarkan setiap parameter adalah pendekatan *capacity planning* dan *CA Inter-Band*. Berikut ditunjukkan hasil simulasi sesuai parameter.

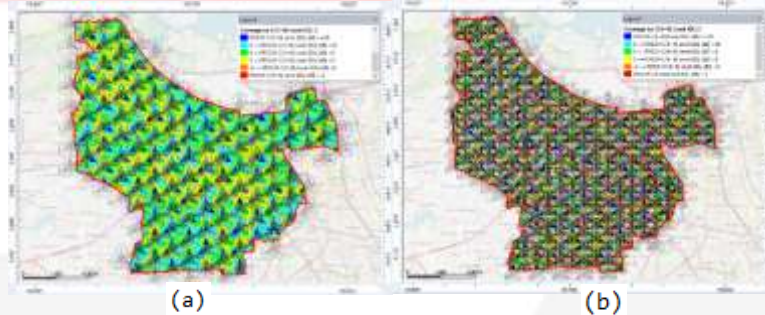


Gambar 4.1 Peta Cakupan Nilai RSRP Skenario X2(a) dan Y2(b) *Capacity*

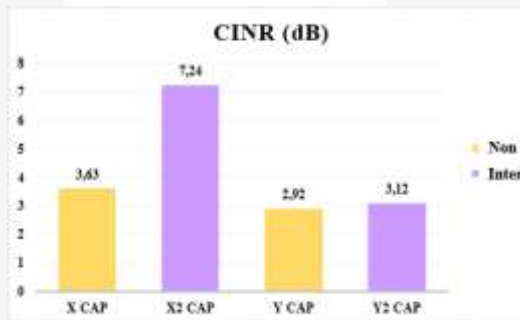


Gambar 4.2 Peningkatan Nilai RSRP CA *Inter-Band* terhadap non-CA

Gambar 4.2 menunjukkan adanya selisih nilai RSRP CA *inter-band* terhadap non CA yang mengindikasikan peningkatan nilai kinerja parameter RSRP menjadi lebih baik. Peningkatan tersebut sebesar 3,02 dBm pada skenario X2 dan 3,02 dBm pada skenario Y2, dimana nilai akhir kedua skenario juga masuk ke dalam kategori kualitas *good* sesuai KPI.

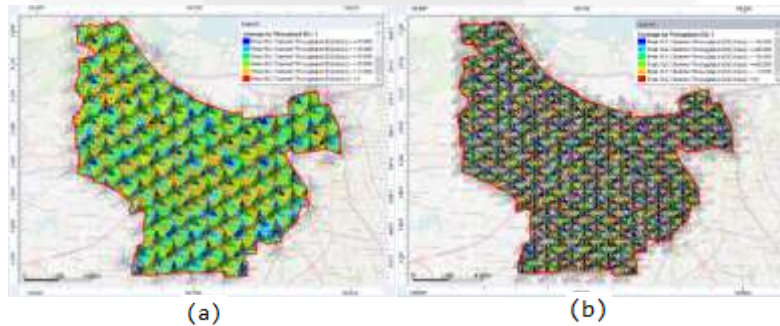


Gambar 4.3 Peta Cakupan Nilai CINR Skenario X2(a) dan Y2(b) *Capacity*

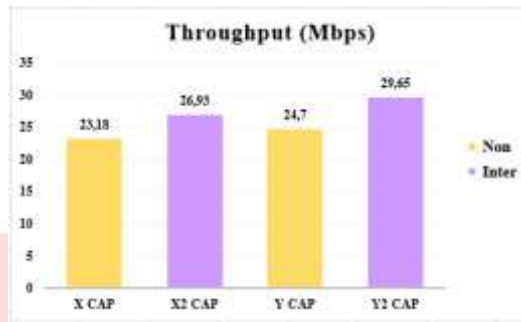


Gambar 4.4 Peningkatan Nilai CINR CA *Inter-Band* terhadap non-CA

Gambar 4.4 menunjukkan adanya selisih nilai CINR CA *inter-band* terhadap non CA yang mengindikasikan peningkatan nilai kinerja parameter CINR menjadi lebih baik. Peningkatan sebesar 3,61 dB terjadi pada skenario X2, dimana nilai akhir skenario tersebut masuk ke dalam kategori kualitas *good* sesuai KPI. Sedangkan peningkatan sebesar 0,2 dB terjadi pada skenario Y2, dimana nilai akhir skenario tersebut masuk ke dalam kategori kualitas *intermediate* sesuai KPI.

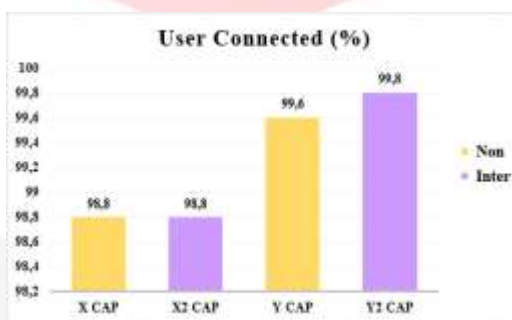


Gambar 4.5 Peta Cakupan Nilai *Throughput* Skenario X2(a) dan Y2(b) *Capacity*



Gambar 4.6 Peningkatan Nilai *Throughput* CA *Inter-Band* terhadap non-CA

Gambar 4.6 menunjukkan adanya selisih nilai *throughput* CA *inter-band* terhadap non CA yang mengindikasikan peningkatan nilai kinerja parameter *throughput* menjadi lebih baik. Peningkatan tersebut sebesar 7,49% pada skenario X2 dan 9,9% pada skenario Y2, dimana nilai akhir kedua skenario masuk ke dalam kategori kualitas *excellent* sesuai KPI.



Gambar 4.7 Peningkatan Persentase *User Connected* CA *Inter-Band* terhadap non-CA

Berdasarkan sub bab 4.3.2.4 dapat diketahui bahwa meskipun hanya terjadi kenaikan yang sangat kecil dan bahkan untuk skenario X2 tidak terjadi peningkatan, namun nilai persentase di kedua skenario sudah mencapai > 90%, artinya hasil perencanaan sudah bagus, dimana mengingat persentase *user connected* bersifat lebih fluktuatif daripada parameter lain.

4.1 Rangkuman Hasil Analisa

Tabel 4.1 Rangkuman Hasil Simulasi dan Analisa

Parameter	Skenario	Nilai Rata-Rata		Pengaruh terhadap Non CA	
		CA <i>Intra-Band</i>	CA <i>Inter-Band</i>	CA <i>Intra-Band</i>	CA <i>Inter-Band</i>
RSRP	X	-105,4 dBm	-105,4 dBm	Naik 3,02 dBm	Naik 3,02 dBm
	Y	-107,69 dBm	-107,68 dBm	Naik 3,01 dBm	Naik 3,02 dBm
CINR	X	4,51 dB	7,24 dB	Naik 0,88 dB	Naik 3,61 dB
	Y	2,56 dB	3,12 dB	Turun 0,36 dB	Naik 0,2 dB
<i>Throughput</i>	X	25,06 Mbps	26,93 Mbps	Naik 3,76%	Naik 7,49%
	Y	25,99 Mbps	29,65 Mbps	Naik 2,57%	Naik 9,9%
<i>User Connected</i>	X	98,9%	98,8%	Naik 0,1%	-
	Y	99,9%	99,8%	Naik 0,3%	Naik 0,2%

5. Kesimpulan

1. Pada Tugas Akhir ini, pendekatan perencanaan terbaik adalah *capacity planning*, dimana memiliki 2 parameter kinerja meliputi RSRP dan *throughput* serta *user connected* yang lebih baik dibandingkan dengan pendekatan *coverage planning*.
2. Hasil Simulasi untuk kinerja parameter RSRP menunjukkan skenario CA *Inter-Band* lebih baik daripada

skenario *Intra-Band* di kedua frekuensi perencanaan 1800 MHz dan 2100 MHz. Adanya peningkatan nilai pada kedua skenario frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz *Inter-band* yang sama-sama sebesar 3,02 dBm menghasilkan nilai akhir -105,4 dBm dan -107,68 dBm. Kedua nilai ini masuk kategori kualitas *good* sesuai standar.

3. Hasil Simulasi untuk kinerja parameter CINR menunjukkan skenario CA *Inter-Band* lebih baik daripada skenario *Intra-Band* di kedua frekuensi perencanaan 1800 MHz dan 2100 MHz. Adanya peningkatan nilai sebesar 3,61 dB pada skenario frekuensi 1800 MHz *Inter-band* menghasilkan nilai akhir 7,04 dB, sedangkan peningkatan nilai sebesar 0,2 dB terjadi pada skenario frekuensi 2100 MHz *Inter-band* menghasilkan nilai akhir 3,12 dB. Kedua nilai ini masuk kategori kualitas *good* dan *intermediate* sesuai standar.
4. Hasil Simulasi untuk kinerja parameter *throughput* menunjukkan skenario CA *Inter-Band* lebih baik daripada skenario *Intra-Band* di kedua frekuensi perencanaan 1800 MHz dan 2100 MHz. Adanya peningkatan nilai sebesar 7,49% pada skenario frekuensi 1800 MHz *Inter-band* menghasilkan nilai akhir 26,93 Mbps, sedangkan peningkatan nilai sebesar 9,9% terjadi pada skenario frekuensi 2100 MHz *Inter-band* menghasilkan nilai akhir 29,65 Mbps. Kedua nilai ini masuk kategori kualitas *excellent* sesuai standar.
5. Hasil Simulasi untuk persentase *user connected* menunjukkan skenario CA *Inter-Band* lebih baik daripada skenario *Intra-Band* di kedua frekuensi perencanaan 1800 MHz dan 2100 MHz. Nilai persentase di kedua skenario sudah mencapai > 90%, artinya hasil perencanaan sudah bagus, dimana mengingat persentase *user connected* bersifat lebih fluktuatif daripada parameter lain.
6. Secara keseluruhan, hasil simulasi terbaik adalah CA *Inter-Band* frekuensi 2100 MHz.
7. Penggunaan fitur *carrier aggregation* dapat dikatakan tepat jika digunakan pada daerah demand tinggi seperti kawasan industri dan perkantoran karena tuntutan akan kualitas dan kuantitas sel terhadap trafik besar dimana dalam hal ini lebih spesifik kepada kebutuhan *data rate* yang tinggi. Dalam *case* ini, cocok jika diimplementasikan di Kota Jakarta Barat.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, "Statistik Telekomunikasi Indonesia 2017," Jakarta, 2018. doi: 8305002.
- [2] APJII, "Penetrasi dan Profil Perilaku Pengguna Internet Indonesia," 2018. doi: 2019051.
- [3] A. Hedlund and I. Contanis, "An Introduction to Carrier Aggregation Testing," Sweden, 2017.
- [4] L. Miller, *Carrier Aggregation Fundamentals for Dummies*, 1st ed., vol. 1. John Wiley & Sons, 2016.
- [5] L. Fadlan, "Performance Analysis of Inter-band and Intra-band Carrier Aggregation on Planning and Dimensioning LTE-Advanced in Bandung City," in *IEEE 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, Februari. 2018.
- [6] Iskandar and R. Galih, "Throughput Evaluation in LTE-Advanced Network Access Using Carrier Aggregation," in *IEEE 1st International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, April. 2016.
- [7] A. Mubarak, "Perencanaan Jaringan LTE-Advanced Pro Menggunakan Metode Licensed Assisted Access dengan Menggabungkan Spectrum Licensed di Frequency 1800 MHz dan Unlicensed di 5 GHz," in *e-Proceeding of Engineering Telkom University*, Vol. 5, No. 3, Desember. 2018.
- [8] M. Sauter, *From GSM to LTE-Advanced: an introduction to mobile networks and mobile broadband*, 2nd ed. Cologne: John Wiley & Sons, 2014.
- [9] T. Nakamura, "Proposal for candidate radio interface technologies for IMT-Advanced based on LTE release 10 and beyond (LTE-Advanced)," Beijing, 2009.
- [10] D.W. Saputra, "Planning LTE-Advanced Using Carrier Aggregation Intra-Band Non-Contiguous and Inter-Band Non-Contiguous Method," in *IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*, Januari. 2016.
- [11] D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, and S. Parkvall, "LTE: The evolution of mobile broadband," *IEEE Commun. Mag.* Vol. 47, No. 4, pp. 41-51, 2009.
- [12] E. Dalia Abdalla Omer, A. A. Babiker, and N. Mustafa, "LTE FDD vs LTE TDD from a Qos Perspective," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, Vol. 10, No. 21, pp. 2278-2834, 2015.
- [13] P.R. Widhi, "4G LTE Advanced for Beginner and Consultant," *Prandia self Publishing*, 2017.
- [14] Huawei, "LTE Radio Network Coverage Dimensioning," 2013.
- [15] Huawei, "LTE Network Planning," 2013.
- [16] Huawei, "LTE Radio Network Capacity Dimensioning," 2013.
- [17] N. Siemens, "RF measurements quantities and optimization also LTE RF measurement quantities in field measurements."
- [18] Baicells, "Baicells Technical Training Part I: Installer Training," 2017.