

ANALISIS KINERJA TEKNIK CARRIER AGGREGATION TDD-FDD DI LTE-ADVANCED DENGAN SKENARIO INTER-BAND CARRIER AGGREGATION

PERFORMANCE ANALYSIS OF TDD-FDD CARRIER AGGREGATION TECHNIQUE IN LTE-ADVANCED WITH INTER-BAND CARRIER AGGREGATION SCENARIO

Roni Fernando Simarmata¹, Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T², Linda Meylani, S.T., M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹ronifs@student.telkomuniversity.ac.id, ²arfiantofahmi@telkomuniversity.ac.id,
³lindameylani@telkomuniversity.ac.id.

Abstrak

Keterbatasan alokasi frekuensi menjadi salah satu faktor terhambatnya peningkatan layanan LTE-Advanced. Salah satu cara untuk meningkatkan layanan LTE-Advanced adalah dengan menggunakan teknik Carrier Aggregation (CA), yang berfungsi untuk meningkatkan nilai *throughput* yang tinggi dengan alokasi frekuensi yang baik. Tugas Akhir ini melakukan simulasi teknik CA menggunakan *software* Atoll.

Tugas Akhir ini merancang teknik CA menggunakan *bandwidth* 20 MHz di daerah *urban* dengan pendekatan *coverage* dan *capacity* pada jaringan 4G 3GPP Release 12, 3GPP Release 10, dan teknik non-CA 3GPP Release 8. Pada 3GPP Release 12, Tugas Akhir ini merancang TDD-FDD dengan frekuensi 2300 MHz, sedangkan pada 3GPP Release 10 FDD-FDD dengan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz.

Tugas Akhir ini melakukan simulasi teknologi CA 3GPP Release 12, 3GPP Release 10, dan teknik non-CA 3GPP Release 8 untuk meningkatkan kinerja LTE-Advanced. Hasil Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa teknologi CA dapat meningkatkan nilai *throughput* secara signifikan. Hasil Tugas Akhir ini juga menunjukkan bahwa teknologi CA yang terbaik adalah menggunakan metode FDD-FDD pada 3GPP Release 10, dengan menggunakan frekuensi 900 MHz sebagai *primary cell* dan 1800 MHz sebagai *secondary cell* ditinjau dari parameter *throughput*. Tugas Akhir ini juga menyajikan hasil simulasi parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP) dan *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR).

Kata kunci : LTE-Advanced, 3GPP Release 12, 3GPP Release 10, Carrier Aggregation, Frekuensi Kerja, FDD-FDD CA, TDD-FDD CA

Abstract

The limitation frequency allocation is one of the factors hampering the increase in LTE-Advanced services. One way to improve LTE-Advanced services is to use the Carrier Aggregation (CA) technique, which serves to increase high throughput values with good frequency allocation. This Undergraduate Thesis simulates the CA technique using Atoll software.

This Undergraduate Thesis designs CA techniques using 20 MHz bandwidth in urban areas with a coverage and capacity approach on the 4G 3GPP Release 12 network, 3GPP Release 10, and non-CA 3GPP Release 8 techniques. In 3GPP Release 12, this Undergraduate Thesis designs TDD-FDD with a frequency of 2300 MHz, while at 3GPP Release 10 FDD-FDD with a frequency of 900 MHz and 1800 MHz.

This Undergraduate Thesis simulates CA 3GPP Release 12 technology, 3GPP Release 10, and non-CA 3GPP Release 8 techniques to improve LTE-Advanced performance. The results of this Undergraduate Thesis indicate that CA technology can significantly increase the value of throughput. The results of this Undergraduate Thesis also show that the best CA technology is to use the FDD-FDD method on 3GPP Release 10, using a frequency of 900 MHz as a primary cell and 1800 MHz as a secondary cell in terms of throughput parameters. Undergraduate Thesis also presents the results of the simulation parameters Reference Signal Received Power (RSRP) and Signal to Interference and Noise Ratio (SINR).

Keyword : LTE-Advanced, 3GPP Release 12, 3GPP Release 10, Carrier aggregation, Frequency of Work, FDD-FDD CA, TDD-FDD CA

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jaringan LTE di Indonesia pertama kali dilakukan pada tahun 2014, namun ini tidak terlalu efektif dikarenakan alokasi spektrum yang terbatas mengakibatkan *bandwidth* yang dihasilkan tidak terlalu besar. Pada saat itu alokasi frekuensi yang digunakan adalah 850 MHz di *band* 5, 900 MHz di *band* 8, 1800 MHz di *band* 3, dan 2300 MHz di *band* 40, di frekuensi ini saja yang memungkinkan operator untuk membangun jaringan LTE, dan yang memungkinkan untuk menambah *bandwidth* hanya pada *band* 1 dan *band* 40.

Pada jaringan 4G LTE 3GPP Release 10, teknologi CA mulai digunakan untuk membantu dalam permasalahan alokasi frekuensi yang selalu dialami. Akan tetapi teknik ini hanya bisa dilakukan pada satu frekuensi kerja yaitu *Time Division Duplex* (TDD) saja atau *Frekuensi Division Duplex* (FDD) saja. Namun teknologi CA mengalami perkembangan pada tahun 2015. 3GPP mengeluarkan 3GPP Release 12 yang menggabungkan antar frekuensi kerja di LTE baik itu FDD dan TDD, sehingga dengan adanya teknologi ini didapatkan kecepatan lebih baik yang didapat dari FDD dan ketersediaan spektrum yang lebar yang di dapat dari TDD [1].

Pada penelitian sebelumnya telah dibahas mengenai CA dan penelitian [2] melakukan perbandingan kinerja teknik *duplexing* FDD-FDD pada skenario *intra-band* CA dan *inter-band* CA pada LTE-A 3GPP Release 10, dan penelitian [3] membahas kombinasi teknik *duplexing* FDD-TDD dengan skenario *inter-band* CA yang diterapkan pada 3GPP Release 12 LTE-Advanced dengan menganalisa metode sebelum dan sesudah menggunakan CA, dari penelitian tersebut diperoleh hasil penggunaan CA dapat meningkatkan nilai *throughput*. Penelitian pada Tugas Akhir ini membahas mengenai pengaruh teknik *duplexing* yang akan digunakan oleh *primary* dan *secondary* spektrum pada skenario *inter-band* CA.

Tugas Akhir ini dilakukan perancangan berdasarkan dua metode yaitu *coverage planning* dan *capacity planning*. Parameter kinerja yang diukur adalah jumlah *site* yang diinginkan, nilai RSRP, SINR, dan juga *throughput* dari semua konfigurasi CA yang dilakukan. Konfigurasi CA yang diuji pada penelitian ini adalah konfigurasi CA pada LTE-Advanced 3GPP Release 12 dengan teknik *duplexing* TDD-FDD, FDD-TDD. Kinerja akan dibandingkan dengan konfigurasi CA pada LTE-Advanced 3GPP Release 10 dengan teknik *duplexing* FDD-FDD dan konfigurasi *non-CA* pada LTE-Advanced 3GPP Release 8.

2. DASAR TEORI

2.1 Long Term Evolution (LTE)

LTE adalah sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA yang diperkenalkan pertama kali oleh *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) project pada 3GPP Release 8 [4]. Teknologi LTE merupakan teknologi yang berbasis *all-IP* yang menjadikan teknologi LTE ini mampu mendukung semua layanan yang diperlukan, seperti layanan *voice*, data, video, dan berbagai kebutuhan multimedia lain [5]. Perbedaan LTE dengan teknologi sebelumnya adalah [4]:

- Menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM).
- Menggunakan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).
- Pembaruan sistem pada arsitektur jaringan.

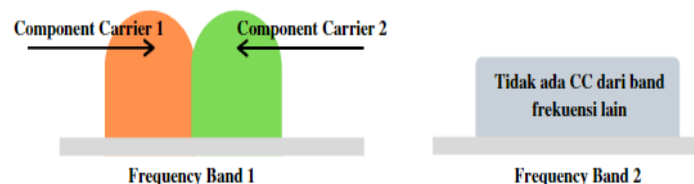
2.2 CARRIER AGGREGATION

Carrier aggregation (CA) adalah salah satu fitur utama pada LTE-Advanced 3GPP Release 10 untuk memenuhi standar *IMT-Advanced*: 3 Gbps untuk *downlink* dan 1.5 Gbps *uplink*. CA memungkinkan operator membangun *bandwidth* "virtual" yang lebih besar dengan cara menggabungkan spektrum frekuensi yang ada dengan tujuan untuk meningkatkan *data rate* dan *throughput* [7].

CA dapat menggunakan CC yang *contiguous* maupun *non-contiguous*. CA dapat dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu sebagai berikut [2], [8]:

a. Intra-Band Contiguous CA

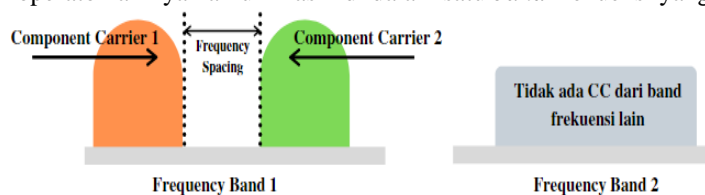
Intra-band contiguous CA merupakan teknik penggunaan 2 atau lebih CCs dengan frekuensi yang saling berdekatan pada satu *band* frekuensi yang sama [2].



Gambar 1 *Intra-band contiguous* CA.

b. Intra-Band Non-Contiguous CA

Intra-band non-contiguous CA menggunakan 2 atau lebih CCs yang frekuensinya tidak saling berdekatan dan dipisahkan oleh sebuah *frequency spacing* atau yang bisa juga diisi oleh beberapa blok frekuensi *carrier* milik operator lainnya namun masih di dalam satu *band* frekuensi yang sama [2], [8].



Gambar 2 *Intra-band non-contiguous* CA.

c. Inter-Band Non-Contiguous CA

Inter-band non-contiguous CA merupakan teknik penggunaan 2 atau lebih CCs yang masing-masing CC terletak di dua *band* frekuensi yang berbeda. Pada umumnya *inter-band non-contiguous* CA digunakan di dua *band* frekuensi dengan teknik *duplex* yang berbeda, sehingga dapat saling memfokuskan baik di sisi *coverage* maupun *capacity* [2], [7], dan [8].

Inter-band CA itu lebih rumit dibanding *intra-band* CA karena *multi carrier* signal tidak bisa diperlakukan (dianggap sama) seperti satu sinyal (*single signal*) dan maka dari itu diperlukan *transceiver* yang lebih canggih (*advanced*) pada sisi *user* (UE) [16].



Gambar 3 *Inter-band non-contiguous* CA [7].

2.3 FDD LTE dan TDD LTE

Spesifikasi jaringan LTE yang telah dikeluarkan 3GPP pada 3GPP Release 8 memungkinkan untuk menerapkan mode *duplexing* yang berbeda dalam satu teknologi jaringan [6]. Untuk FDD LTE, dibutuhkan satu pasang spektrum frekuensi yang digunakan untuk *downlink* (DL) dan *uplink* (UL) yang masing-masing spektrum frekuensi dipisahkan dengan *guard band* untuk menghindari interferensi. Sedangkan untuk TDD LTE, hanya membutuhkan frekuensi tunggal untuk melakukan transmisi DL dan UL, hanya saja waktu yang digunakan untuk proses transmisi DL dan UL dibedakan sehingga tidak terjadi interferensi [6]. Tabel 1 menjelaskan perbedaan FDD LTE dan TDD LTE.

Tabel 1 Perbedaan FDD LTE dan TDD LTE.

Karakteristik	LTE FDD	LTE TDD
Efisiensi Spektrum	Tinggi	Rendah
Kompleksitas Transmisi	Tinggi	Rendah (Namun membutuhkan akurasi waktu)
Biaya	Tinggi	Rendah
Latensi	Rendah	Bergantung kepada Tx-Rx <i>Switching Period</i>
DL/UL Simetrisitas	50/50 (Simetris)	Asimetris
Penggunaan MIMO & <i>Beamforming</i>	Sulit diimplementasikan	Mudah diimplementasikan

2.4 Parameter Radio Frequency (RF) LTE

Parameter *Radio Frequency* (RF) mempunyai nilai parameternya masing-masing yang akan diukur dan diamati dengan standar KPI yang telah ditetapkan oleh operator yang menunjukkan performansi dari suatu jaringan radio. Adapun beberapa parameter RF sebagai berikut.

2.4.1 Reference Signal Received Power (RSRP)

RSRP adalah parameter tingkat kekuatan sinyal terima dalam satuan dBm. Semakin jauh jarak dan banyaknya *obstacle* antara *transceiver* dan UE maka semakin kecil parameter RSRP yang diterima oleh UE, dan begitu pula sebaliknya. Berikut adalah KPI parameter RSRP Operator:

Tabel 2 Standar nilai RSRP.

RSRP <i>Criteria</i> (dBm)	Tingkat
$-95 > x > -85$	Sangat Bagus
$-100 > x > -95$	Bagus
$-105 > x > -100$	Normal
$-115 > x > -105$	Cukup
≤ -115	Buruk

2.4.2 Signal to Interference Noise and Ratio (SINR)

SINR adalah parameter perbandingan antara kekuatan sinyal terima dengan sinyal *noise* dan interferensi. SINR menyatakan kualitas sinyal yang diterima oleh UE dalam satuan dB. Berikut adalah KPI parameter SINR operator.

Tabel 3 Standar nilai SINR.

SINR <i>Range</i>	Tingkat
$20 > x$	Sangat Bagus
$20 > x > 10$	Bagus
$10 > x > 0$	Normal
$0 > x > -5$	Cukup
$-5 > x$	Buruk

2.4.3 Throughput

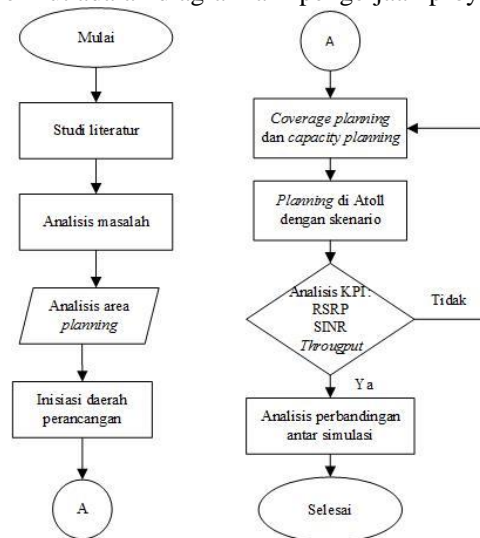
Throughput adalah jumlah bit benar (tidak mengalami error) yang diterima per detik. Data rate adalah jumlah bit yang secara teori bisa diterima dengan benar per detik. Jika channel sangat sempurna, maka throughput akan sama dengan data rate, karena channel sempurna (juga saat noise sangat kecil), maka tidak ada bit yang mengalami error. Peak data rate adalah jumlah bit maksimum yang secara teori bisa diterima dengan benar per detik.

3. MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN

Tugas Akhir ini membandingkan kinerja teknik carrier aggregation TDD-FDD dan FDD-TDD dengan FDD-FDD joint di LTE-Advanced dengan skenario inter-band CA. Penggunaan teknologi ini diimplementasikan dikarenakan teknologi CA dibutuhkan karena semua interface teknologi sekarang memerlukan kecepatan yang baik dalam pengiriman data dan komunikasi antar teknologi dan juga teknologi ini memiliki banyak kelebihan yang kelebihanannya akan disesuaikan dengan kondisi di daerah dan situasi pada daerah Cimahi Selatan.

3.1 DIAGRAM ALIR

Pada perancangan jaringan LTE-Advanced di daerah Cimahi Selatan, diperlukan tahapan kerja secara sistematis yang bertujuan untuk mendapatkan hasil performansi dari jaringan yang sesuai dengan Key Performance Indicator (KPI) yang ditentukan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, terdapat tiga diagram alir yang menunjukkan tahapan perancangan jaringan yaitu diagram alir utama, diagram alir perancangan dengan skenario non-CA, CA FDD-FDD serta diagram alir perancangan dengan skenario CA FDD-TDD dan TDD-FDD. Berikut adalah diagram alir pengerjaan proyek akhir:



Gambar 4 Diagram alir Tugas Akhir.

3.2 Coverage Dimensioning

Untuk menentukan luas coverage area dan memperkirakan jumlah site yang dibutuhkan pada daerah yang ada di Kecamatan Cimahi Selatan, dibutuhkan perhitungan dengan menggunakan metode *planning by coverage*. Perhitungan tersebut dimulai dengan menghitung nilai *link budget* berdasarkan spesifikasi suatu perangkat baik eNodeB maupun UE. Langkah pertama akan dihitung menggunakan MAPL, menggunakan Tabel 3:

Tabel 3 MAPL uplink untuk spesifikasi perangkat Huawei

Radio Link Budget - Uplink		
Transmitter (UE)	Value	Calculation
Max Tx Power (dBm)	23	A
Tx Antenna Gain (dBi)	0	B
Body Loss (dB)	0	C
EIRP (dBm)	23	D = A+B-C
Receiver (eNode B)	Value	Calculation
Noise figure (dB)	2.3	E
Thermal noise (dBm)	-100.96	F = k*T*BW
Receiver noise floor (dBm)	-98.66	G = E+F
SINR (dB)	-7	H
Receiver Sensitivity (dBm)	-105.66	I = G+H
Interference margin (dB)	0.45	J
Cable loss (dB)	0.5	K
Fading Margin (dB)	15	L
Rx antenna gain (dBi)	18	M
MHA gain (dB)	2	N
Maximum Allowed path loss	132.71	O = D-I-J-K-L+M+N

Tabel 3 MAPL uplink untuk spesifikasi perangkat Huawei

Tabel 4 MAPL *downlink* untuk spesifikasi perangkat Huawei

Radio Link Budget - Downlink		
Transmitter (RBS) Value Calculation	Value	Calculation
BS Tx Power (dBm)	43	A
BS Antenna Gain (dB)	18	B
Total Loss (dB)	3	C
EIRP (dBm)	58	D = A+B-C
Receiver (UE) Value Calculation	Value	Calculation
UE noise figure (dB)	7	E
Thermal noise (dBm)	-100.96	F = k*T*BW
Receiver noise floor (dBm)	-93.96	G = E+F
SINR (dB)	-7	H
Receiver Sensitivity (dBm)	-100.96	I = G+H
Interference margin (dB)	6.56	J
Rx antenna gain (dB)	0	K
Body loss (dB)	3	L
Fading margin (dB)	15	M
Maximum Allowed path loss	134.4	N = D-I-J+K-L-M

Langkah selanjutnya adalah menghitung sesuai model propagasi sesuai dengan ketentuan setiap frekuensi:

Tabel 5 Model Propagasi yang digunakan

Ketentuan Model Propagasi	
Frekuensi	Model Propagasi
900 MHz	Okumura-Hata
1800 MHz	Cos231
2300 MHz	Cos231

Langkah selanjutnya adalah menghitung sesuai jumlah *site* sesuai dengan ketentuan setiap frekuensi dan dengan *bandwidth* 20MHz:

Tabel 6 hasil perhitungan *coverage dimensioning*

Frekuensi	900 Mhz	1800 Mhz	2300 Mhz
Luas Daerah	16.9 km	16.9 km	16.9 km
Radius Cell	1.64 km	0.87 km	0.69 km
Luas Cell	5.25 km ²	1.49 km ²	0.93 km ²
Jumlah Cell	4	12	19

3.3 Capacity dimensioning

Dalam *capacity dimensioning* perencanaan jaringan dilakukan berdasarkan parameter *traffic* dan *service* model yang berguna untuk mengestimasi kapasitas layanan yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Jumlah *transmitter* yang didapat berdasarkan hasil kalkulasi dengan skema *capacity dimensioning* dipaparkan pada tabel berikut:

Tabel 7 hasil perhitungan *capacity dimensioning*

Parameter	900 MHz		1800 MHz		2300 MHz	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
Network Throughput (Mbps)	291.84	1250.74	291.84	1250.74	291.84	1250.74
Cell Average Throughput (Mbps)	102.07	85.06	91.46	76.21	68.16	56.80
Jumlah Sel	9	45	12	51	15	69
Jumlah Site	3	15	4	17	5	23

3.4 Skenario Pengujian

Skenario Pengujian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah dengan menganggregasi dua komponen *carrier* dengan skenario sebagai berikut:

1. Metode CA FDD-FDD dengan total *bandwidth* sebesar 20 MHz dengan frekuensi *primary* di 900 MHz dan *secondary* di frekuensi 1800 MHz dan akan dibandingkan dengan *non-CA* di frekuensi 900 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.
2. Metode CA FDD-FDD dengan total *bandwidth* sebesar 20 MHz dengan frekuensi *primary* di 1800 MHz dan *secondary* di frekuensi 900 MHz dan akan dibandingkan dengan *non-CA* di frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.
3. Metode CA FDD-TDD dengan total *bandwidth* sebesar 20 MHz dengan frekuensi *primary* di 1800 MHz dan *secondary* di frekuensi 2300 MHz dan akan dibandingkan dengan *non-CA* di frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.
4. Metode CA TDD-FDD dengan total *bandwidth* sebesar 20 MHz dengan frekuensi *primary* di 2300 MHz dan *secondary* di frekuensi 1800 MHz dan akan dibandingkan dengan *non-CA* di frekuensi 2300 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.

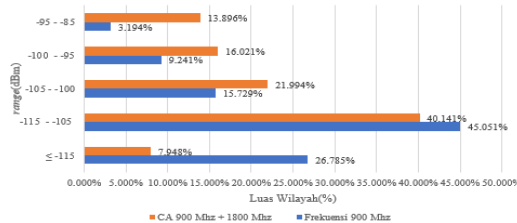
4. Analisis Simulasi Perancangan

Pada bab ini diperlihatkan hasil yang diperoleh dari perbandingan terhadap kinerja jaringan LTE-Advanced non-CA dengan LTE-Advanced CA inter-band non-contiguous, dan kemudian dilakukan analisa terhadap kinerja dari parameter RSRP, SINR, dan throughput.

4.1 Perbandingan Parameter RSRP

Pengujian perbandingan terhadap parameter RSRP bertujuan untuk mengetahui karakteristik nilai RSRP dengan mengadopsi metode CA.

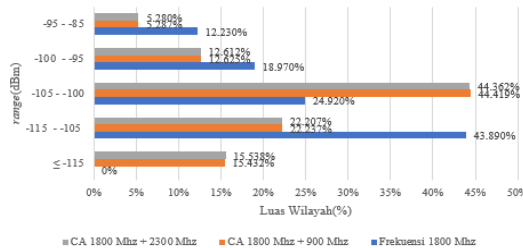
- Perbandingan RSRP non-CA 900 MHz dan CA 900 MHz + 1800 MHz.



Gambar 5 RSRP non-CA 900 MHz dan CA (900 + 1800) MHz.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan RSRP non-CA dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang -95 dBm hingga -85 dBm untuk non-CA mendapatkan persentase luas cakupan 3.194% dan CA FDD-FDD (900 + 1800) MHz luas cakupan 13.896%, nilai RSRP ini akan berpengaruh pada level sinyal yang diterima user.

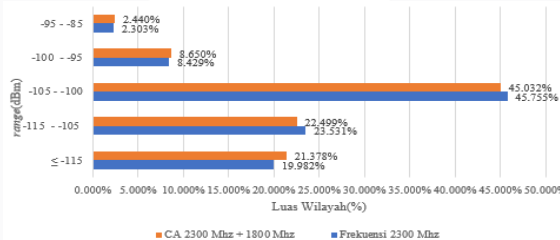
- Perbandingan RSRP non-CA 1800 MHz, CA 1800 MHz + 900 MHz, dan CA 1800 MHz + 2300 MHz.



Gambar 6 RSRP non-CA 1800 MHz, CA (1800 + 900) MHz, dan CA (1800 + 2300) MHz.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan RSRP non-CA dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang -95 dBm hingga -85 dBm untuk non-CA mendapatkan persentase luas cakupan 12.23% dan CA FDD-FDD (1800 + 900) MHz luas cakupan 5.287%, dan CA FDD-TDD (1800 + 2300) MHz luas cakupan 5.28% nilai maksimum RSRP ini akan berpengaruh pada level sinyal yang diterima user.

- Perbandingan RSRP non-CA 2300 MHz dan CA 2300 MHz + 1800 MHz.



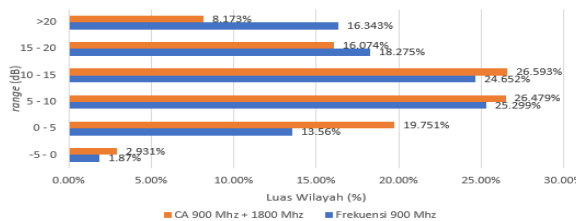
Gambar 7 RSRP non-CA 2300 MHz dan CA (2300 + 1800) MHz.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan RSRP non-CA dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang -95 dBm hingga -85 dBm untuk non-CA mendapatkan persentase luas cakupan 2.303% dan CA TDD-FDD (2300 + 1800) MHz luas cakupan 2.44%, nilai maksimum RSRP ini akan berpengaruh pada level sinyal yang diterima user.

4.2 Pengujian Parameter SINR

Pengujian perbandingan terhadap parameter SINR bertujuan untuk mengetahui nilai SINR dengan mengadopsi metode CA.

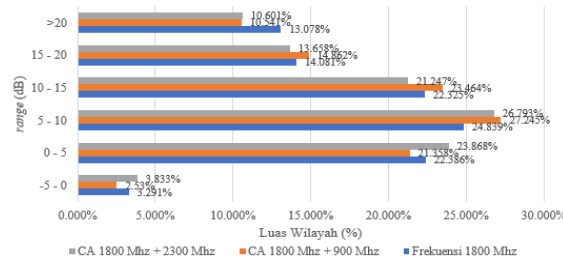
- Perbandingan SINR non-CA 900 MHz dan CA 900 MHz + 1800 MHz.



Gambar 8 SINR non-CA 900 MHz dan CA (900 + 1800) MHz.

Gambar 8 menunjukkan perbandingan SINR *non-CA* dan CA yang memiliki nilai maksimum pada SINR > 20 dB untuk *non-CA* 900 MHz dengan persentase luas cakupan 16.343%, sedangkan CA FDD-FDD (900 + 1800) MHz memiliki luas cakupan 8.173%. Nilai SINR berpengaruh pada kualitas sinyal yang diterima *user*.

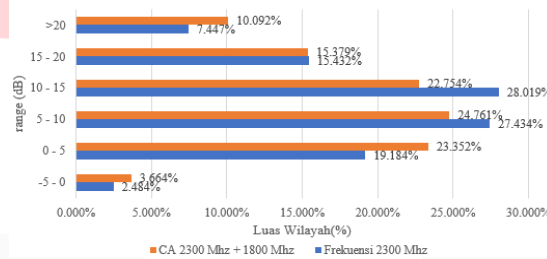
- Perbandingan SINR *non-CA* 1800 MHz, CA 1800 MHz + 900 MHz, dan CA 1800 + 2300 MHz.



Gambar 9 SINR *non-CA* 1800 MHz, CA (1800 + 900) MHz, dan CA(1800 + 2300) MHz.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan SINR *non-CA* dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang > 20 dB untuk *non-CA* mendapatkan persentase luas cakupan 13.078% dan CA FDD-FDD (1800 + 900) MHz luas cakupan 10.541%, dan CA FDD-TDD (1800 + 2300) MHz luas cakupan 10.601%. Nilai SINR berpengaruh pada kualitas sinyal yang diterima *user*.

Perbandingan SINR *non-CA* 2300 MHz dan CA 2300 MHz + 1800 MHz.



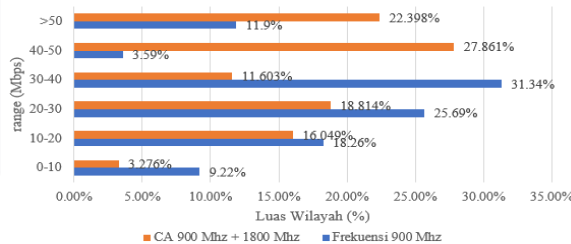
Gambar 10 SINR *non-CA* 2300 MHz dan CA (2300 + 1800) MHz.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan SINR *non-CA* dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang > 20 dB untuk *non-CA* mendapatkan persentase luas cakupan 7.447% dan CA TDD-FDD (2300 + 1800) MHz luas cakupan 10.092%, nilai SINR berpengaruh pada kualitas sinyal yang diterima *user*.

4.3 Pengujian Parameter Throughput

Pengujian perbandingan terhadap parameter *throughput* bertujuan untuk mengetahui karakteristik nilai *throughput* dengan mengadopsi metode CA.

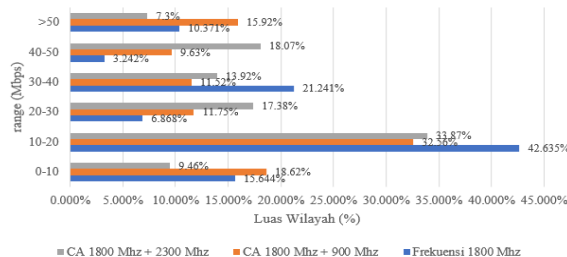
- Perbandingan *throughput non-CA* 900 MHz dan CA 900 MHz + 1800 MHz.



Gambar 11 *Throughput non-CA* 900 MHz dan CA (900 + 1800) MHz.

Gambar 11 menunjukkan perbandingan *throughput non-CA* dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang > 50 Mbps untuk *non-CA* mendapatkan persentase luas cakupan 11.9% dan CA FDD-FDD (900 + 1800) MHz luas cakupan 22.398%, nilai *throughput* ini akan berpengaruh pada kecepatan data yang diterima *user*.

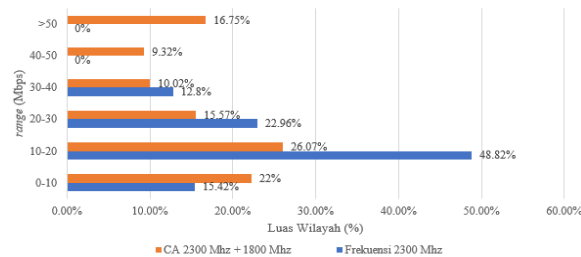
- Perbandingan *throughput non-CA* 1800 MHz, CA 1800 MHz + 900 MHz, dan CA 1800 + 2300 MHz.



Gambar 12 *Throughput non-CA* 1800 MHz, CA (1800 + 900) MHz, dan CA(1800 + 2300) MHz.

Gambar 12 menunjukkan perbandingan *throughput non-CA* dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang > 50 Mbps untuk *non-CA* mendapatkan persentase luas cakupan 10.371% dan CA FDD-FDD (1800 + 900) MHz luas cakupan 15.92%, dan CA FDD-TDD (1800 + 2300) MHz luas cakupan 7.3%, nilai *throughput* ini akan berpengaruh pada kecepatan data yang diterima *user*.

- Perbandingan *throughput non-CA* 2300 MHz dan CA 2300 MHz + 1800 MHz.



Gambar 13 *Throughput non-CA* 2300 MHz dan CA (2300 + 1800) MHz.

Gambar 13 menunjukkan perbandingan *throughput non-CA* dan CA dapat dilihat nilai maksimum di rentang > 50 Mbps untuk *non-CA* mendapatkan persentase luas cakupan 0% dan CA TDD-FDD (2300 + 1800) MHz luas cakupan 16.75%, nilai *throughput* ini akan berpengaruh pada kecepatan data yang diterima *user*.

4.4 Hasil Analisis

Hasil rangkuman dari analisa kinerja yang telah dilakukan disimulasi dibuat dalam bentuk tabel 8.

Tabel 8 Rangkuman nilai rata-rata semua parameter pada simulasi

Parameter	Non-CA 900 MHz	CA (900 + 1800) MHz	Non-CA 1800 MHz	CA (1800 + 900) MHz	CA (1800 + 2300) MHz	Non-CA 2300 MHz	CA (2300 + 1800) MHz
RSRP (dBm)	-109.88	-104.88	-104.18	-107.29	-107.33	-108.97	-109.19
SINR (dB)	12.54	10.49	10.85	10.67	10.27	10.46	10.31
Throughput (Mbps)	29.197	36.707	25.13	28.439	27.244	18.307	27.195

Tabel 8 menunjukkan parameter *throughput* yang meningkat setelah dilakukan proses teknik CA, karena teknik CA berfungsi untuk meningkatkan parameter *throughput*. Metode FDD-FDD CA (900 + 1800) MHz adalah metode terbaik dalam parameter *throughput*, ditandai dengan background kuning pada Tabel 8. Hal ini dikarenakan FDD *uplink* dan *downlink* bekerja simetris, berbeda dengan TDD *uplink* dan *downlink* yang bekerja asimetris. Selain itu, duplexing FDD memiliki nilai maksimum *data rate* yang lebih tinggi dibandingkan TDD, sesuai dengan teori [16].

Tugas Akhir menerapkan metode CA, dengan hasil SINR yang mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan LTE-Advanced *non-CA* hanya memiliki 1 frekuensi kerja sehingga interferensi lebih kecil, sedangkan pada LTE-Advanced CA mempunyai 2 frekuensi kerja dalam 1 eNodeB yaitu pada frekuensi *primary* dan frekuensi *secondary*. Sehingga interferensi terhadap sel bukan hanya pada frekuensi *primary* saja melainkan frekuensi *secondary* juga, akan tetapi untuk keseluruhan nilai parameter metode CA layak untuk di implementasikan.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Tugas Akhir ini telah berhasil melakukan simulasi CA metode FDD-FDD, FDD-TDD, TDD-FDD dan *non-CA* untuk meningkatkan layanan LTE-Advanced menggunakan *software* Atoll. Berikut adalah hasil simulasi pada Tugas Akhir ini:

1. Parameter RSRP pada lokasi studi kasus mengalami kenaikan nilai rata-rata sebesar 5.15 dBm setelah menggunakan metode CA FDD-FDD (900 MHz + 1800 MHz), sedangkan setelah menggunakan metode CA lainnya mengalami penurunan nilai rata-rata pada rentang 0.22 – 3.15 dBm.
2. Parameter *throughput* lokasi studi kasus mengalami kenaikan nilai rata-rata pada rentang 2.114 – 8.888 Mbps setelah menggunakan metode CA, sesuai dengan teori teknologi CA yang berfungsi meningkatkan nilai *throughput*.
3. Parameter SINR pada lokasi studi kasus mengalami penurunan nilai rata-rata pada rentang 0.15 – 2.05 dB setelah menggunakan metode CA.
4. Metode CA FDD-FDD (900 + 1800) MHz adalah metode dengan nilai rata-rata parameter *throughput* terbaik, jika dibandingkan dengan metode CA lainnya. Hal ini dikarenakan FDD *uplink* dan *downlink* bekerja simetris, berbeda dengan TDD *uplink* dan *downlink* yang bekerja asimetris. Selain itu, duplexing FDD memiliki nilai maksimum *data rate* yang lebih tinggi dibandingkan TDD.
5. Penggunaan frekuensi FDD sebagai *primary* dan TDD sebagai *secondary* pada CA lebih baik jika dibandingkan dengan TDD sebagai *primary* dan FDD sebagai *secondary*. Hal tersebut dapat dilihat dari

hasil simulasi nilai *throughput* FDD yang lebih meningkat dibandingkan TDD sebagai *primary cell* pada CA.

5.2 Saran

Saran yang dapat diusulkan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. CA untuk kedepannya bisa membandingkan dan menganalisis dengan skenario lain misalnya *intra-band contiguous* dan *non-contiguous*.
2. Untuk Tugas Akhir atau penelitian selanjutnya menggunakan jumlah *carrier* yang lebih dari ini, dikarenakan teknologi CA mendukung penggabungan frekuensi hingga 5 frekuensi *carrier*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iskandar and R. Galih, "Carrier aggregation technique to improve capacity in LTE-Advanced network," *Telkonnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 14, no. 1, pp. 119–128, 2016.
- [2] L. Fadlan, "Carrier aggregation on Planning and Dimensioning LTE-Advanced in Bandung City," pp. 129–133, 2017.
- [3] J. N. Sinulingga, A. Wahyudin, and M. A. Amanaf, "Analisis perancangan LTE- A dengan teknik *carrier aggregation* interband pada frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz di kota semarang tengah (study kasus : PT. Telkomsel)," *J. Elektro Telekomun. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 634–645, 2018.
- [4] CK Toh, P. (2011). "4G LTE Technologies: System Concepts"
- [5] Cuihong, Han. (2010). ZTE. "Progress of 3G Evolution Technologies".
- [6] Huawei Technologies, "The difference between FDD&TDD through LTE point of view", Huawei, 2017
- [7] 4G Americas (2014). "LTE Carrier aggregation".
- [8] Gujral, Ekta. Jitendra Singh Jadon (2016). "LTE Evolution towards Carrier aggregation (LTE-Advanced)". India: Amity University
- [9] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte "Radio Network coverage Dimensioning"
- [10] Huawei technologies Co.Ltd.2010.Lte "Radio Network Capacity Dimensioning"
- [11] Uke Kurniawan Usman, (2012) "Fundamental Teknologi Seluler LTE", Rekayasa Sains, Bandung.
- [12] Badan Pusat Statistik Kota Cimahi. 2016. "Statistik Daerah Kota Cimahi 2016"
- [13] Huawei Technologies, "LTE Radio Network Planning Introduction", Huawei, 2013
- [14] Phillips, Caleb, "A Survey of Wireless Path Loss Prediction and Coverage Mapping Methods", IEEE, 2013
- [15] S. C. F. Behrouz A. Forouzan, Data Communications and Networking Fourth Edition, united states: mcgraw-hill higher education, 2007.
- [16] L. Miller, Carrier Aggregation Fundamentals for Dummies, 1st ed., vol. 1. John Wiley & Sons, 2016.
- [17] e. RF, "everything RF," everything RF, 28 November 2016. [Online]. Available:<https://www.everythingrf.com/community/what-is-the-difference-between-data-rate-and-throughput>. [Accessed 15 July 2020].