

**PERENCANAAN JARINGAN TD-LTE *ADVANCED* DENGAN SKEMA *CARRIER AGGREGATION*  
*INTRA-BAND CONTIGUOUS* STUDI KASUS KOTA BANDUNG**

Purusadi Hastruman<sup>1</sup>, Arfianto Fahmi<sup>2</sup>, Uke Kurniawan Usman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Jurusan SI Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom*

<sup>1</sup>*purusadihastruman97@gmail.com*, <sup>2</sup>*arfiantof@telkomuniversity.ac.id*, <sup>3</sup>*ukeusman@telkomuniversity.ac.id*

**ABSTRAK**

*Carrier aggregation* merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* karena dengan metode *carrier aggregation* beberapa frekuensi berbeda yang memiliki *bandwidth* yang kecil dapat di agregasi sehingga akan mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar, jadi tujuan utama dari penerapan metode *carrier aggregation* adalah peningkatan pada nilai *throughput*. Pada perencanaan ini juga menerapkan metode *time division duplexing* (TDD), karena *duplexing* menggunakan metode TDD memiliki keuntungan untuk menangani layanan berbasis data yang mayoritas bersifat *Non-Guarantee Bit Rate* (N-GBR) karena pada layanan ini tidak memerlukan *bit rate* minimum untuk dapat bekerja. Pada simulasi ini menggunakan frekuensi 2300 MHz sebagai frekuensi TD-LTE *Advanced* dan parameter yang menjadi fokus utama adalah *throughput*, *reference signal received power* (RSRP), *reference signal strength indicator* (RSSI), *carrier to interference noise ratio* (CINR), dan *block error rate* (BLER). Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata *throughput* sebesar 10,3 Mbps, nilai rata-rata RSRP sebesar -113,69 dBm, nilai rata-rata RSSI sebesar -72,13 dBm, nilai rata-rata CINR sebesar 3,91 dB, dan nilai rata-rata BLER sebesar 0,08%.

**Kata kunci:** *Carrier Aggregation, Time Division Duplex, TD-LTE Advanced*

**ABSTRACT**

*Carrier aggregation* is one solution that can be used to increase *bandwidth* because with *carrier aggregation* method several different frequencies that have small *bandwidth* can be aggregated, thus a wider *bandwidth* can be generated, so the main purpose of *carrier aggregation* is an increase in the value of *throughput*. This planning also using the *time division duplex* (TDD) method, because *duplexing* using the TDD method has advantage for handling data-based services that the majority have *Non-Guarantee Bit Rate* (N-GBR) characteristics because most of these services do not require a minimum *bit rate* to be able to work. This simulation using 2300 MHz for TD-LTE *advanced* and parameters that to be the main focus are *throughput*, *reference signal received power* (RSRP), *reference signal strength indicator* (RSSI), *carrier to interference noise ratio* (CINR), and *block error rate* (BLER). And the result of the simulations from TD-LTE *Advanced* planning using *carrier aggregation* method are the mean of *throughput* value is 10,3 Mbps, mean of RSRP value is -113,69 dBm, mean of RSSI value is -72,13 dBm, mean of CINR value is 3,91 dB, and mean of BLER value is 0,08%.

**Keyword:** *Carrier Aggregation, Time Division Duplex, TD-LTE Advanced*

## PENDAHULUAN

Dilansir 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.

Untuk itu 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).

Dorongan untuk mengembangkan LTE menjadi LTE *Advanced* untuk menghasilkan data rate yang lebih tinggi dengan cara yang efisien serta kapasitas yang lebih besar [3]. LTE *Advanced* membutuhkan minimal bandwidth sebesar 100 MHz untuk mendapatkan target data rate yang cukup tinggi tersebut. Tetapi kemampuan untuk mendapatkan data rate yang tinggi ini dibatasi oleh fragmentasi spektrum frekuensi, mengingat spektrum yang cukup lebar dalam satu frekuensi jarang terjadi.

Untuk itu LTE *Advanced* mengadopsi metode *carrier aggregation* dengan tujuan untuk mendapatkan bandwidth yang dibutuhkan dengan cara meng-agregasi komponen *carrier* yang memiliki bandwidth kecil dengan jumlah komponen *carrier* maksimum yang dapat diagregasi sebanyak lima buah dengan bandwidth total sebesar 100 MHz.

Terdapat tiga buah skenario untuk menerapkan metode *carrier aggregation*, yaitu:

1. *Carrier aggregation intra-band, contiguous.*
2. *Carrier aggregation intra-band, non-contiguous.*
3. *Carrier aggregation inter-band.*

Perbedaan beberapa metode *carrier aggregation* ini adalah letak frekuensi dari komponen *carrier* yang akan diagregasi. Metode *carrier aggregation* dapat dilakukan pada skema *duplexing* yang menggunakan metode *frequency division duplex* (FDD) maupun *time division*

*duplex* (TDD) [4].

Sehingga, pada simulasi ini dilakukan penerapan *carrier aggregation intra-band contiguous* dengan metode *duplexing* menggunakan *time division duplex* (TDD) pada frekuensi 2300 MHz, hal ini didasari karena *duplexing* menggunakan metode *time division duplex* memiliki kelebihan dalam menangani layanan berbasis data yang mayoritas bersifat *Non-Guarantee Bit Rate* (N-GBR) karena layanan ini tidak membutuhkan *bit rate* minimum untuk dapat bekerja serta melakukan efisiensi frekuensi

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Carrier Aggregation*

*Carrier aggregation* merupakan sebuah metode yang diadopsi pada teknologi LTE *Advanced* yang bertujuan untuk meningkatkan data rate yang dapat diterima pengguna. *carrier aggregation* digunakan untuk menggabungkan beberapa *carrier*, tiap *carrier* yang diagregasi disebut komponen *carrier* [5].

*Carrier aggregation* dapat mendukung penggabungan antara *carrier* yang terletak pada frekuensi yang berdekatan (*adjacent*) maupun yang tidak berdekatan (*non-adjacent*), sehingga komponen *carrier* dapat berasal dari frekuensi yang sama maupun frekuensi yang berbeda dan *carrier aggregation* dapat digunakan pada baik dalam FDD maupun TDD [6].



Gambar 1. Skenario *Carrier Aggregation* Intraband, Contiguous

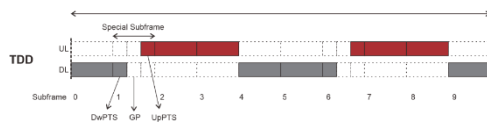
Merupakan skenario penyebaran *carrier aggregation* yang paling sederhana, dimana dalam skenario ini dilakukan agregasi terhadap beberapa komponen *carrier* yang berdekatan dalam pita frekuensi yang sama. Namun, metode ini memiliki keterbatasan akibat aturan alokasi spektrum frekuensi sehingga untuk mendapatkan komponen *carrier* yang berdekatan sedikit sulit, disisi lain penggunaan metode *carrier aggregation* akan memperbesar nilai *peak-to-average power* (PAPR) akibat penggunaan bandwidth yang cukup besar.

### *Time Division Duplex*

Pada teknologi LTE *Advanced* terdapat dua metode yang digunakan dalam proses *duplexing*, yaitu FDD (*frequency division duplex*) dimana

dalam konsep *duplexing* ini komunikasi dibagi berdasarkan frekuensi dan TDD (*time division duplex*) dimana komunikasi dibagi berdasarkan waktu [7].

Konsep duplexing dengan metode TDD menggunakan frekuensi tunggal yang artinya proses transmit dan receive dilakukan diwaktu yang berbeda [8]. Keuntungan penggunaan duplexing menggunakan metode TDD adalah transmisi data antara downlink dan uplink tidak simetris sehingga operator dapat dengan mudah mengalokasikan trafik [9].



Gambar 2. TDD Frame Structure

Pada *duplexing* ini *subframe* dialokasikan untuk proses *downlink*, proses *uplink*, dan juga dialokasikan untuk *special subframe* yang berguna untuk *trigger* dari proses *downlink* menuju proses *uplink*.

### Coverage Dimensioning

Pendekatan dalam hal *coverage* dibutuhkan untuk mengetahui jumlah perangkat yang dibutuhkan untuk menjangkau cakupan wilayah, dalam proses ini dilakukan kalkulasi terhadap nilai *path loss* serta pemilihan model propagasi yang digunakan berdasarkan kriteria area studi kasus. Tingkat keakuratan perhitungan salah satunya dipengaruhi dengan pemilihan permodelan propagasi, karena dengan model propagasi kita dapat memprediksi *signal propagation behavior*. Salah satu cara dalam melakukan kalkulasi terhadap redaman yang dialami oleh sinyal dan saat dipropagasikan adalah dengan menggunakan tabel *maximum allowable pathloss* seperti pada Tabel 1.

Table 1. Tabel MAPL

Maximum Allowable Path Loss Downlink			
Tx	Unit	Formula	Scale
Tx Power	dBm	$a$	46
Resource Block		$c$	60
Subcarrier Distributed Power		$d = c \times 12$	720
Subcarrier Power	dBm	$e = a - (10 \times \log d)$	17.43
Antenna Gain	dB	$g$	18
Cable Loss	dB	$h$	0.5
EIRP	dBm	$j = e + g - h$	34.93
Rx	Unit	Formula	Scale
SINR	dB	$k$	-9

Noise Figure	dB	$l$	7
Thermal Noise	dBm	$P$	-132.07
Sensitivity	dBm	$m$	-134.07
Body Loss	dB	$p$	0
Interference Margin	dB	$q$	4
Min Reception Signal Strength	dBm	$r = m + p + q$	-130.07
Path Loss & Shadow Margin	Unit	Formula	Scale
Penetration Loss	dB	$s$	16
Shadow Margin	dB	$t$	8
Path Loss	dB	$u = j - r - s - t$	141

Model propagasi yang digunakan dalam *coverage dimensioning* ini adalah COST 231-Hatta, dimana Cost 231 merupakan sebuah permodelan propagasi yang merupakan perluasan dari model propagasi Hatta serta model propagasi Okumura yang bertujuan untuk meningkatkan rentang frekuensi. Model propagasi Cost 231 – Hatta untuk urban memiliki persamaan sebagai berikut [10]:

$$Lu = 46.3 + 33.9 \log[f(\text{MHz}) - 13.82 \log Hb + (44.9 - 6.55 \log Hb)] \log d \quad (1)$$

$$a(Hr) = (1.1 \log f - 0.7)Hr - (1.56 \log f - 0.8) \quad (2)$$

$$Total = Lu - a(Hr) \quad (3)$$

### Capacity Dimensioning

*Capacity dimensioning* berhubungan dengan kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan kepada pengguna dengan kualitas yang telah dikehendaki seperti *throughput* dan probabilitas *blocking*.

*Capacity dimensioning* terdiri atas 2 prosedur, yaitu *single site throughput* yang dilakukan berdasarkan beberapa parameter seperti mode *duplex*, *bandwidth*, dan sebagainya. Sedangkan *total network throughput* yang merupakan proses *dimensioning* berdasarkan *traffic model* dan *service model*.

#### I. Single Site Throughput

##### 1. Kalkulasi nilai *cell capacity*

Nilai *cell capacity* berguna untuk mengestimasi kapasitas dari tiap sel. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{Cell Capacity}_{(\text{DL})} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times \text{codebits} \times \text{code rate} \times N \times C \times 1000 \quad (4)$$

##### 2. Kalkulasi nilai *capacity per site*

Nilai *capacity per site* dibutuhkan untuk mengestimasi kapasitas dari tiap *site*. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{Site Capacity} = \text{Cell Avg Throughput}_{(DL,UL)} \times 3 \quad (5)$$

## II. Total Network Throughput

### 1. Kalkulasi nilai *throughput per session*

Nilai *throughput per session* merupakan nilai *throughput* berdasarkan tiap layanannya. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\frac{\text{Throughput}_{\text{Session}}}{\text{Session}} = \text{bearer rate} \times \text{PPP session time} \times \text{PPP session duty ratio} \times \left[ \frac{1}{1 - \text{BLER}} \right] \quad (6)$$

### 2. Kalkulasi nilai *single user throughput*

Pada dasarnya nilai *single user throughput* adalah penjumlahan untuk setiap layanannya. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{SUT} = \frac{\sum (\frac{\text{Throughput}_{\text{Session}}}{\text{Session}}) \times \text{BHSAXPenetrationRatio} \times (1 + \text{PAR})}{3600} \quad (7)$$

### 3. Kalkulasi nilai *totalNetwork throughput (IP Layer)*

Diperoleh dengan mengalikan nilai *single user throughput* dengan total pengguna layanan. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{TNT}_{(DL,UL)} = \text{Total User Number} \times \text{SUT}_{(DL,UL)} \quad (8)$$

### 4. Transfer IP layer throughput ke MAC layer throughput

Dengan terdapatnya pengurangan *header* pada *MAC layer*, maka dilakukan konversi nilai yang diperoleh pada *IP layer throughput*. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{MAC Throughput} = \frac{\text{IP Layer Throughput}}{98,04\%} \quad (9)$$

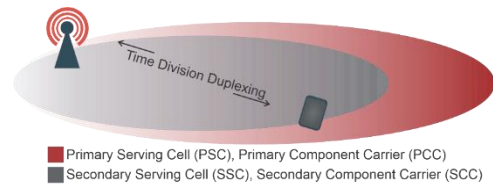
### 5. Kalkulasi jumlah *transmitter*

Jumlah *site* dapat diperoleh dengan membandingkan nilai *total network throughput* pada *MAC layer* dengan *site capacity*. Persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{Number of TX} = \frac{\text{Total Network Throughput}_{\text{MAC layer}}}{\text{Capacity per site}} \quad (10)$$

## PERENCANAAN JARINGAN

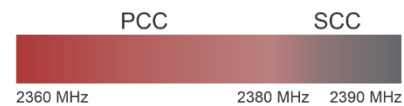
Pada simulasi ini dilakukan perencanaan jaringan TD-LTE *Advanced* dengan mengadopsi metode *carrier aggregation intra-band, contiguous*. Skema yang dilakukan adalah dengan menggunakan dua buah komponen *carrier* dengan *bandwidth* 20 MHz yang bertindak sebagai *primary carrier component (PCC)* dan komponen *carrier* lainya dengan *bandwidth* 10 MHz bertindak sebagai *secondary carrier component (SCC)*.



Gambar 3. Permodelan TD-LTE *Advanced*

Skenario pengujian yang digunakan dalam simulasi ini adalah dengan mengagregasi dua buah komponen *carrier* dengan skenario sebagai berikut:

1. Komponen *carrier* dengan *bandwidth* sebesar 20 MHz yang terletak pada rentang frekuensi 2360-2380 MHz digunakan sebagai *primary serving cell*.
2. Komponen *carrier* dengan *bandwidth* sebesar 10 MHz yang terletak pada rentang frekuensi 2380-2390 MHz digunakan sebagai *secondary serving cell*.



Gambar 4. Skenario Letak Frekuensi

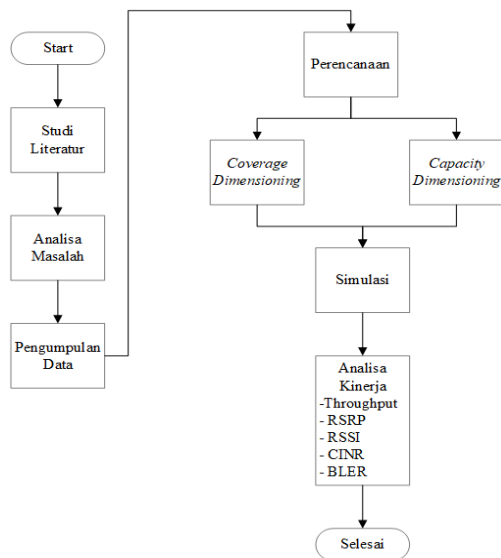
Sementara spesifikasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan pada Tabel 2.

Table 2. Spesifikasi TD-LTE *Advanced*

Spesifikasi	Primary Serving Cell (PSC)	Secondary Serving Cell (SSC)
Frekuensi	2360-2380 MHz	2380-2390 MHz
Bandwidth	20 MHz	10 MHz
Resource Block (RB)	100	50
	DL = 60 UL = 20	DL = 30 UL = 10
Model Propagasi	Cost-231 Hatta	
Duplexing	Time Division Duplex (TDD)	
Konfigurasi TDD	Konfigurasi 2	
MIMO TRX	4 x 4	

## Skema Perencanaan

Pada Gambar 5 berikut ini merupakan diagram alir yang menjelaskan tahapan yang dilakukan saat perencanaan TD-LTE *Advanced*.



Gambar 5. Diagram Alir Perencanaan

Lokasi studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini berada di Kota Bandung. Pemilihan lokasi studi kasus ini dikarenakan Kota Bandung menjadi salah satu kota dengan tingkat populasi terbanyak di Jawa Barat. Langkah yang ditempuh dalam melakukan perencanaan jaringan TD-LTE *Advanced* dengan melakukan kalkulasi terhadap *capacity dimensioning* serta *coverage dimensioning*. Jumlah *transmitter* yang didapat berdasarkan kalkulasi *coverage dimensioning* dan *capacity dimensioning* disimpulkan pada Tabel 3.

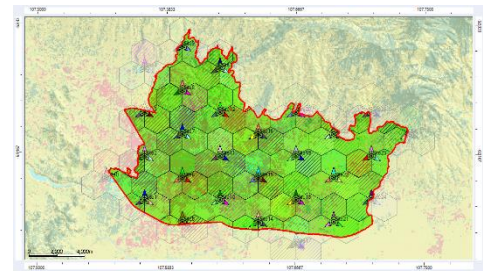
Table 3. Jumlah *Transmitter*

Kalkulasi	Jumlah <i>Transmitter</i>	
	20 MHz	10 MHz
<i>Coverage Dimensioning</i>	80	52
<i>Capacity Dimensioning</i>	30	59

Dengan membandingkan jumlah *transmitter* yang diperoleh dari kalkulasi dengan skema *coverage dimensioning* serta *capacity dimensioning* antara *bandwidth* 20 MHz dan 10 MHz, jumlah *transmitter* yang akan digunakan sebagai acuan sebanyak 80 *transmitter*. Sehingga diasumsikan dengan memilih jumlah *transmitter* terbanyak maka kinerja akan lebih optimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dipaparkan hasil yang diperoleh dari pengujian terhadap perencanaan jaringan TD-LTE *Advanced* dengan mengadopsi skema *carrier aggregation intra-band contiguous* area studi kasus adalah Kota Bandung.

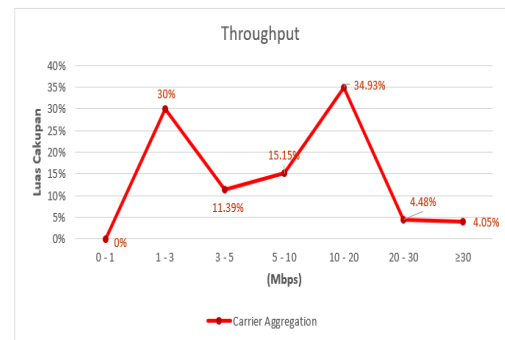


Gambar 6. Perencanaan TD-LTE *Advanced*

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi diperoleh jumlah *transmitter optimal* yang digunakan pada perencanaan TD-LTE *Advanced* sebanyak 84 *transmitter*.

### Analisa *Throughput*

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi yang diperoleh dari pengujian terhadap parameter *throughput*.

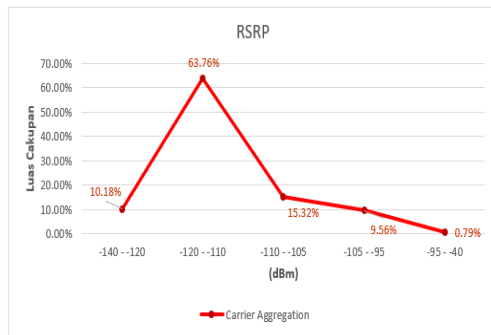


Gambar 7. Parameter *Throughput*

Dari grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa TD-LTE *Advanced* yang mengadopsi metode *carrier aggregation* memiliki nilai *throughput* minimum dalam kisaran 1-3 Mbps dengan luas 30% dari area cakupan, nilai *throughput* maksimum > 30 Mbps dengan luas 4,05% dari area cakupan. Dari simulasi diperoleh nilai *throughput* rata-rata pada TD-LTE *Advanced* dengan mengadopsi *carrier aggregation* adalah 10,3 Mbps.

### Analisa RSRP

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi yang diperoleh dari pengujian terhadap parameter RSRP.

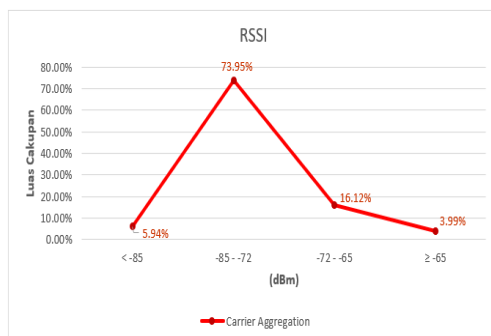


Gambar 8. Parameter RSRP

Dari grafik pada Gambar 8 menunjukkan bahwa TD-LTE *Advanced* yang mengadopsi metode *carrier aggregation* memiliki nilai RSRP minimum dalam kisaran -140 hingga -120 dBm dengan luas 10,18% dari area cakupan, nilai RSRP maksimum dalam kisaran -95 hingga -40 dBm dengan luas 0,79% dari area cakupan. Dari simulasi diperoleh nilai RSRP rata-rata pada TD-LTE *Advanced* adalah -113,69 dBm.

#### Analisa RSSI

Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi yang diperoleh dari pengujian terhadap parameter RSSI.

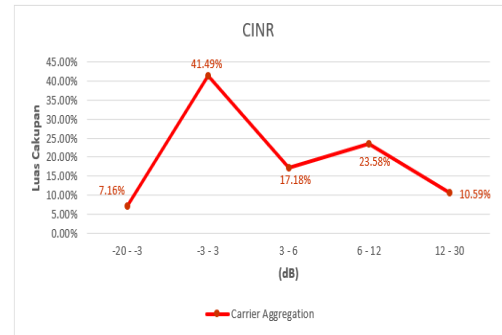


Gambar 9. Parameter RSSI

Dari grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa TD-LTE *Advanced* yang mengadopsi metode *carrier aggregation* memiliki nilai RSSI minimum dalam kisaran < -85 dBm dengan luas 6,65% dari area cakupan, nilai RSSI maksimum dalam kisaran > -65 dBm dengan luas 3,96% dari area cakupan. Dari simulasi diperoleh nilai RSSI rata-rata pada TD-LTE *Advanced* adalah -72,13 dBm.

#### Analisa CINR

Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi yang diperoleh dari pengujian terhadap parameter CINR.

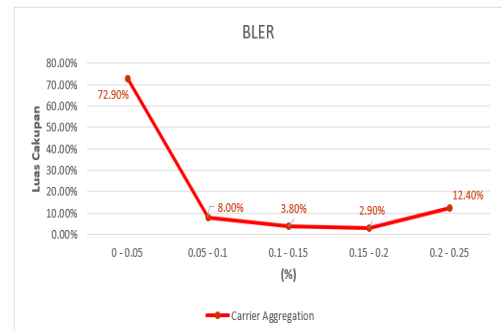


Gambar 10. Parameter CINR

Dari grafik pada Gambar 10 menunjukkan bahwa TD-LTE *Advanced* yang mengadopsi metode *carrier aggregation* memiliki nilai CINR minimum dalam kisaran -20 hingga -3 dB dengan luas 7,16% dari area cakupan, nilai CINR maksimum dalam kisaran 12 hingga 30 dB memiliki luas 10,59% dari area cakupan. Dari simulasi diperoleh rata-rata nilai CINR pada TD-LTE *Advanced* dengan mengadopsi *carrier aggregation* adalah 3,91 dB.

#### Analisa BLER

Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi yang diperoleh dari pengujian terhadap parameter RSSI.



Gambar 11. Parameter BLER

Dari grafik pada Gambar 10 menunjukkan bahwa TD-LTE *Advanced* yang mengadopsi metode *carrier aggregation* memiliki nilai BLER minimum dalam kisaran < 0,05% dengan luas 72,90% dari area cakupan, nilai BLER maksimum dalam kisaran 0,2% hingga 0,25% dengan luas 12,40% dari area cakupan. Dari simulasi diperoleh nilai BLER rata-rata pada TD-LTE *Advanced* adalah 0,08%.

#### Rekapitulasi

Dengan demikian rangkuman dari kinerja yang didapat dari simulasi dapat dilihat pada Tabel .

Table 4. Rekapitulasi Kinerja Sistem

Nilai Rata-Rata Parameter	Carrier aggregation	Rekapitulasi
Throughput	10,3 Mbps	Nilai throughput yang dihasilkan cukup bagus.
RSRP	-113,69 dBm	
RSSI	-72,13 dBm	
CINR	3,91 dB	
BLER	0,08%	

Dengan menerapkan metode *carrier aggregation* yang disimulasikan pada jaringan Advanced TD-LTE *Advanced* diketahui bahwa dengan *carrier aggregation* diperoleh nilai *throughput* yang baik hingga 10,3 Mbps. Hal ini membuat implementasi *carrier aggregation* cocok ketika digunakan di daerah dengan *high demand* seperti di daerah studi Kota Bandung di mana kebutuhan *data rate* yang tinggi merupakan faktor penting. Tetapi karena penggunaan *multi carrier* nilai interferensi meningkat sehingga nilai CINR yang diperoleh tidak terlalu baik dari simulasi yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata CINR sebesar 3,91 dB, oleh karena itu diperlukan manajemen interferensi yang lebih baik sehingga metode *carrier aggregation* layak untuk diterapkan.

## SIMPULAN

1. Tujuan utama penerapan *carrier aggregation* adalah peningkatan pada nilai *throughput*. Dengan *carrier aggregation* nilai rata-rata *throughput* adalah 10,3 Mbps.
2. Dari simulasi perencanaan jaringan TD-LTE *Advanced*, nilai rata-rata RSRP yang diperoleh setelah *carrier aggregation* diimplementasikan adalah -113,69 dBm.
3. Nilai rata-rata RSSI setelah dilakukan implementasi *carrier aggregation* adalah -72,13 dBm.
4. Karena penggunaan sistem *multi carrier* nilai interferensi meningkat sehingga nilai CINR yang diperoleh tidak terlalu baik karena setelah *carrier aggregation* diimplementasikan, nilai rata-rata CINR yang diperoleh adalah 3,91 dB.
5. *Carrier aggregation* layak untuk diterapkan di daerah perkotaan seperti Kota Bandung. Hal ini karena nilai *throughput* dan *data rate* menjadi poin yang sangat penting untuk dicapai.
6. Manajemen interferensi harus dilakukan bersamaan dengan penerapan *carrier aggregation*, ini bertujuan untuk mengurangi nilai interferensi yang dilakukan sehubungan dengan digunakannya sistem *multi carrier*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, "Statistik Telekomunikasi Indonesia 2017," Jakarta, 2018.
- [2] APJII, "Penetrasi dan Profil Perilaku Pengguna Internet Indonesia," 2018.
- [3] L. Miller, *Carrier Aggregation Fundamentals for Dummies*, 1st ed., vol. 1. John Wiley & Sons, 2016.
- [4] A. Hedlund and I. Contanis, "An Introduction to Carrier Aggregation Testing," Sweden, 2017.
- [5] L. Fadlan, "Performance analysis of inter-band and intra-band carrier aggregation on planning and dimensioning LTE-Advanced in Bandung city," in *IEEE*, 2017, pp. 129–133.
- [6] M. Sauter, *From GSM to LTE-advanced: an introduction to mobile networks and mobile broadband*, 2nd ed. Cologne: John Wiley & Sons, 2014.
- [7] D. Astély, E. Dahlman, A. Furuskär, Y. Jading, M. Lindström, and S. Parkvall, "LTE: The evolution of mobile broadband," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 4, pp. 44–51, 2009.
- [8] 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.
- [9] P. W. C. Chan *et al.*, "The evolution path of 4G networks: FDD or TDD?," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 12, pp. 42–50, 2006.
- [10] Kurniawan, U, *Pengantar Ilmu Telekomunikasi*. Penerbit Informatika, 2008.