

## ANALISIS PERFORMANSI PICO CELL PADA JARINGAN HETEROGEN LTE-ADVANCED

### PERFORMANCE ANALYSIS OF PICO CELL IN LTE- ADVANCED HETEROGENEOUS NETWORK

Hafidh Finandriyanto<sup>1</sup>, Dr. Arfianto Fahmi<sup>2</sup>, Ir. Uke Kurniawan Usman M.T<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>hafidh.finand@gmail.com, <sup>2</sup> arfiantof@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>uku@ittelkom.ac.id

#### Abstrak

Kapasitas selalu menjadi masalah dalam setiap perkembangan teknologi seluler. Setiap perubahan selalu dilakukan untuk memberikan kapasitas yang lebih baik. Pada Teknologi LTE release 9 telah diperkenalkan skema jaringan heterogen, yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan dari kapasitas saat ini.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan simulasi dan analisis jaringan heterogen LTE-Advanced dengan pico cell sebagai small cell nya. Ada 4 skenario simulasi yang akan dilakukan. Pico cell akan menggunakan 2 jenis frekuensi yaitu 1800 MHz dan 2100 Mhz tergantung skenario masing-masing. Selain itu juga akan dilakukan implementasi pico cell yang disertai dengan metode eICIC untuk mengurangi interferensi antar macro dan pico site.

Parameter yang akan dianalisis diantaranya, signal level, CINR level, throughput, dan presentase user connected yang akan di simulasikan pada software Atoll 3.3. Untuk Simulasi satu (macro) didapat signal level -80.24 dBm, CINR level 5.39, throughput 23.13 Mbps, dan user connected 37%. Pada skenario 2 (pico I) didapat signal level -60.38 dBm, CINR level 6.99, throughput 14.1 Mbps, dan jumlah user connected 92.1%. Pada skenario 3 (pico II) didapat signal level -59.01, CINR level 6.65, throughput 12.4 Mbps, dan user connected 88.3%. Sedangkan pada skenario 4 (pico III) didapat signal level -59.01, CINR level 6.97, throughput 13.4 Mbps, dan user connected 91.1%.

**Kata kunci :** LTE-Advanced, Heterogeneous Network, eICIC.

#### Abstract

Capacity is always being an issue in any development of cellular technology. Any changes are always made to provide better capacity. In LTE rel 9 has been introduced heterogeneous network scheme, which is expected to address the problems of the current capacity.

In this final project will be conducted simulation and analysis of LTE-Advanced heterogeneous network with pico cell as the small cell. There are four simulations that will be conducted. Pico cell will use two types of frequency which is 1800 MHz and 2100 MHz depending on each scenario. And also eICIC method will be used in the last scenario for reducing interference between macro and pico site.

The parameters that gonna be analyzed are signal level, CINR level, throughput, and percentage of connected user. For simulation one (macro) the signal level is -80.24 dBm, CINR level is 5.39, throughput is 23.13 Mbps, and user connected is 37 %. For simulation two (pico I) the signal level is -60.38 dBm, CINR level is 6.99, throughput is 14.1 Mbps, and user connected is 92.1%. For simulation three (pico II) the signal level is -59.01 dBm, CINR level is 6.65, throughput is 12.4 Mbps, and user connected is 88.3%. For simulation four (pico III) the signal level is -59.01 dBm, CINR level is 6.97, throughput is 13.4 Mbps, and user connected is 91.1%.

**Keywords:** LTE-Advanced, Heterogeneous Network, eICIC.

#### 1. Pendahuluan

Perkembangan mobile data traffic setiap tahunnya terus meningkat, hingga mencapai angka yang sangat fenomenal. Oleh karena itu dalam setiap perkembangan teknologi seluler selalu memberikan kapasitas yang lebih baik dari teknologi sebelumnya. Pada LTE release 9 telah diperkenalkan skema jaringan heterogen, yang gunanya untuk meningkatkan kapasitas sitem dengan menambah small cell.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan simulasi dan analisis penerapan jaringan heterogen LTE-Advanced berbasis pico cell sebagai small cell nya. *Pico cell* akan menggunakan 2 jenis band frekuensi yaitu 1800 MHz dan 2100 MHz. Dengan lebar bandwidht kanal 10 MHz. Simulasi akan dilakukan pada software Atoll 3.3.

Simulasi akan dilakukan dari sisi coverage dan capacity. Parameter yang akan dianalisis diantaranya, signal level, CINR, throughput, dan presentase user connected. Sehingga dapa dilihat seberapa besar peningkatan sistem dari sisi kapasitas sebelum dan sesudah implementasi dari *pico cell*.

## 2. Dasar Teori dan Tahap Perencanaan

### 2.1 Heterogeneous Network<sup>[1]</sup>

Heterogeneous Network (HetNet) adalah sebuah jaringan yang terdiri dari macro cell yang bertransmisi pada level daya yang tinggi, dimana macro cell melapisi small cell, yang bisa dikenal dengan Low Power Node (LPN). LPN bisa berupa, pico cell, femto cell, Remote Radio Head (RRH), dan relay.

### 2.1 eICIC (Enhanced Intercell Interference Coordination)<sup>[2]</sup>

Enhanced inter-cell interference coordination (eICIC) telah diperkenalkan oleh 3GPP pada LTE release 10, untuk mengatasi permasalahan interferensi pada arsitektur hetnet. eICIC merupakan teknik mitigasi interferensi berdasarkan domain waktu. eICIC menggunakan Almost Blank Subframe (ABS) sebagai teknik mitigasi interferensi nya.

Ide dasar dari teknik mitigasi domain waktu adalah dengan cara menonaktifkan penerimaan traffic pada subframe tertentu untuk mengurangi dampak interferensi ke sel lain nya. Sel yang menyebabkan interferensi pada UE dan sel lain nya bisa disebut aggressor cell dan sel yang menjadi korban interferensi bisa disebut victim cell. Dengan menggunakan ABS maka konfigurasi subframe pada aggressor cell ada sebagian yang di non aktifkan (mengirimkan subframe kosong). Tetapi tidak sepenuhnya kosong, beberapa kanal broadcast harus tetap di transmisikan seperti PBCH, CRS, dan PSS/SSS harus tetap ditransmisikan untuk mendukung konektivitas hubungan antara UE dan eNB

### 2.3 Capacity Planning<sup>[3]</sup>

Suatu perhitungan kapasitas jaringan yang direncanakan beberapa tahun kedepan berdasarkan kebutuhan user dan dihasilkan jumlah kapasitas sebuah sel yang menghasilkan jumlah site yang dibutuhkan. Terdapat langkah-langkah untuk menghitung demand throughput. Pertama tentukan throughput per session berdasarkan trafik dan model layanan, kemudian menghitung single user throughput yang merupakan maksimum throughput per user, dan selanjutnya menghitung total throughput dari seluruh user atau disebut uplink dan downlink network throughput.

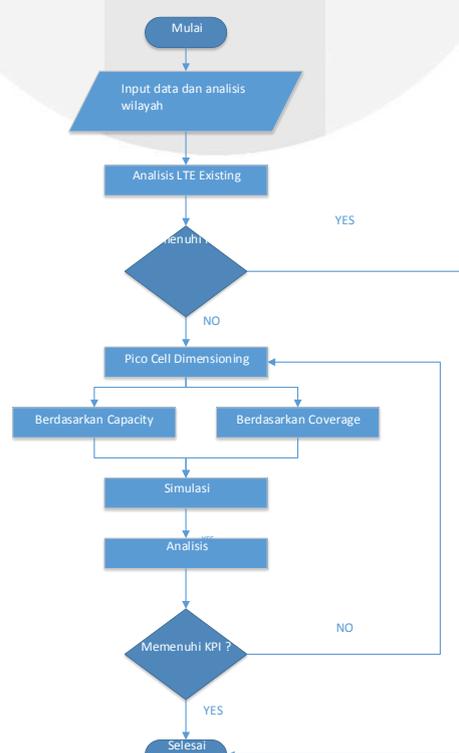
### 2.4 Coverage Planning<sup>[4]</sup>

Perhitungan kapasitas jaringan dengan tinjauan geografis seperti luas daerah. Perhitungan ini juga dihitung berdasarkan uplink dan downlink.

## 3. Pembahasan

### 3.1 Diagram Alir

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan maka perlu dilakukan beberapa tahap pengerjaan sebagai alur kerja. Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alur

### 3.2 Daerah Tinjauan

Daerah yang dipilih untuk menjadi tinjauan penelitian adalah kota Bandung. Secara geografis kota Bandung terletak diantara  $06^{\circ} 57'$  LS dan  $107^{\circ} 37'$  BT. Secara administratif tiap wilayah administratif terdiri atas kecamatan dan kelurahan. Saat ini kota Bandung terdiri dari 30 kecamatan dan 151 kelurahan. Pada penelitian ini site existing yang akan digunakan sebagai sample ada site N\_BDG891MT\_SIMPANGBRAGA yang terletak di daerah dense urban kota Bandung.

### 3.3 Model sistem

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dan analisis implementasi pico cell pada jaringan heterogen LTE-Advanced. Jaringan heterogen merupakan jaringan yang terdiri dari sebuah macro cell yang melapisi beberapa small cell. Small cell yang digunakan pada penelitian ini adalah pico cell, dimana pico cell akan ditaruh pada daerah tepi dari coverage macro cell. Dengan tujuan untuk meningkatkan performansi sistem dari sisi kapasitas secara keseluruhan. Spektrum frekuensi yang digunakan untuk macro cell adalah 1800 MHz sedangkan pico cell menggunakan 2 jenis frekuensi yaitu 1800 MHz dan 2100 MHz sesuai jenis skenario masing-masing. Besar bandwidth yang akan digunakan yaitu 10 MHz. Ada 4 skenario yang akan dilakukan diantaranya:

Tabel 3.1 Skenario Simulasi

Parameter sistem	Macro		Pico I		Pico II		Pico III	
	Macro	Pico	Macro	Pico	Macro	Pico	Macro	Pico
Jumlah Site	1	-	1	5	1	5	1	5
Frekuensi Kerja (MHz)	1800	-	1800	2100	1800	1800	1800	1800
eICIC	-	-	-	-	-	-	Yes	-

### 3.4 Konfigurasi eICIC

Pada skenario Pico II, band frekuensi yang digunakan oleh macro dan pico cell sama-sama menggunakan frekuensi 1800 MHz. Hal ini bisa menyebabkan interferensi antara macro dan pico sehingga menyebabkan kualitas jaringan menurun. Oleh karena itu perlu diterapkan metode eICIC. Metode eICIC digunakan untuk mengurangi dampak interferensi antara macro dan pico cel dengan cara menonaktifkan. Pada penelitian ini akan dilakukan konfigurasi ABS pola 1 pada macro cell. Berikut ini adalah contoh beberapa pola ABS<sup>[2]</sup>:

- ABS pattern 1: 1000000010000000100000001000000010000000
- ABS pattern 2: 01000000010000000100000001000000010000000

### 3.5 Coverage Planning

#### 3.5.1 Link Budget

Dalam proses planning by coverage, proses pertama yang dilakukan adalah link budget calculation. Tujuan dari link budget calculation adalah memperkirakan nilai maximum allowed path loss (MAPL) antara transmitter dan receiver untuk arah uplink dan downlink.

Tabel 3.2 Link Budget Pico Cell<sup>[5]</sup>

Parameter	UL	DL	
Transmitter	UE	eNodeB	
Power (dBm)	23	30	a
Antenna gain (dBi)	0	5	b
Cable Loss (dB)	2	2	c
EIRP (dBm)	23	33	d = a+b-c
Receiver	eNodeB	UE	
SINR (dB)	-10	-10	e
Noise Figure (dB)	10	10	f
Thermal Noise (dBm)	-100.9	-100.9	g
Receiver Sensitivity (dBm)	-103	-103	h = e+f+g
Interference Margin (dB)	3	3	i
Fading Margin (dBm)	2	2	j
Body Loss	0	0	k
MAPL (dB)	121.9	131.9	L = d-h-i-j-k+b

### 3.5.2 Propagation Model

Radius sel dapat diketahui berdasarkan persamaan model propagasi yang digunakan. Pemilihan penggunaan model propagasi disesuaikan pada frekuensi kerja yang akan digunakan. Pada penelitian ini frekuensi kerja yang akan digunakan pico cell adalah 1800 MHz dan 2100 MHz maka dari itu rumus propagasi yang akan digunakan adalah Cost 231.

Cost 231 1800 MHz

$$PL = 46.3 + 33.9 (\log f) - 13.82 \log hb - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log hb) \log d + CM$$

$$121.9 = 46.3 + 33.9 (\log 1800) - 13.82 \log 7 - a(hm) + (44.9 - (6.55 \log 7)) \log d + 3$$

$$\text{Dengan: } a(hm) = (1.1 \log f - 0.7) hr - (1.56 \log f - 0.8)$$

$$a(hm) = (1.1 \log 1800 - 0.7) 1.5 - (1.56 \log 1800 - 0.8)$$

$$a(hm) = 4.32 - 4.28$$

$$a(hm) = 0.04, \text{ maka}$$

$$121.9 = 46.3 + 33.9 (\log 1800) - 13.82 \log 7 - 0.04 + (44.9 - (6.55 \log 7)) \log d + 3$$

$$121.9 = 49.3 + 110.35 - 11.68 - 0.04 + (44.9 - 5.53) \log d$$

$$121.9 = 147.93 + 39.37 \log d$$

$$D = 0.21 \text{ km}$$

Cost 231 2100 MHz

$$PL = 46.3 + 33.9 (\log f) - 13.82 \log hb - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log hb) \log d + CM$$

$$121.9 = 46.3 + 33.9 (\log 2100) - 13.82 \log 7 - a(hm) + (44.9 - (6.55 \log 7)) \log d + 3$$

$$\text{Dengan: } a(hm) = (1.1 \log f - 0.7) hr - (1.56 \log f - 0.8)$$

$$a(hm) = (1.1 \log 2100 - 0.7) 1.5 - (1.56 \log 2100 - 0.8)$$

$$a(hm) = 4.43 - 4.38$$

$$a(hm) = 0.05, \text{ maka}$$

$$121.9 = 46.3 + 33.9 (\log 2100) - 13.82 \log 7 - 0.04 + (44.9 - (6.55 \log 7)) \log d + 3$$

$$121.9 = 49.3 + 112.62 - 11.68 - 0.04 + (44.9 - 5.53) \log d$$

$$121.9 = 150.2 + 39.37 \log d$$

$$D = 0.19 \text{ km}$$

### 3.6 Planning by Capacity

Pada *capacity planning* akan dilakukan perhitungan dari sisi kapasitas *pico cell*. Pada perhitungan kapasitas *pico cell* ini, parameter perhitungan bergantung pada nilai *bandwidth* kanal yang dialokasikan, jenis modulasi dan *coding scheme* yang digunakan. Perhitungan kapasitas dapat ditinjau dari arah *uplink* dan *downlink*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

- DL [Mbps] = (168-36-12) x (code bits) x (code rate) x Nrb x C x 1000 - CRC
- UL [Mbps] = (168-24) x (code bits) x (code rate) x Nrb x C x 1000 - CRC

Berikut ditampilkan persebaran *throughput* yang dihasilkan sesuai dengan jenis modulasinya:

Tabel 3.3 Persebaran Throughput Pico Cell<sup>[3]</sup>

No. (n)	MCS	Code Bits	Code Rate	SINR (min) (dB)	SINR Probability (Pn)	Throughput (Mbps)
1	QPSK 1/3	2	0.67	-1.5 - 0.3	0.3	7.2
2	QPSK 1/2	2	0.5	0.3 - 2	0.23	12
3	QPSK 2/3	2	0.67	2 - 4.5	0.2	16
4	16QAM 1/2	4	0.5	4.5 - 6	0.12	24
5	16QAM 2/3	4	0.67	6 - 8.5	0.07	32
6	16QAM 4/5	4	0.8	8.5 - 10.8	0.05	38
7	16QAM 1/2	6	0.5	10.8 - 12.5	0.02	36
8	16QAM 2/3	6	0.67	12.5 - 13.5	0.01	48
Average throughput (Mbps)						16.8

#### 3.6.1 Perhitungan Kebutuhan Throughput Sistem

Untuk bisa mengetahui kapasitas jaringan LTE dalam satu sel, maka harus dilakukan terlebih dahulu perhitungan *network throughput* berdasarkan kebutuhan pelanggan. Sedangkan *throughput* yang dibutuhkan pelanggan berbeda-beda tergantung dari jenis layanan yang ingin digunakan. Berikut ini ditampilkan data *throughput* yang dibutuhkan untuk masing-masing layanan:

Tabel 3.4 Trafik Model Layanan<sup>[3]</sup>

Traffic parameters	Uplink				Donwlink				UL	DL
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Throughput / Session (Kbps)	Throughput / Session (Kbps)
VoIP	26.9	80	0,4	1%	26,9	80	0,4	1%	869,4949	869,4949
Video Conference	62,53	1.800	1	1%	62,3	1.800	1	1%	113.690,9	113.690,9
Real Time Gaming	31,26	1.800	0,2	1%	125,06	1.800	0,4	1%	11.367,27	90.952,73
Streaming Media	31,26	3.600	0,05	1%	250,11	3.600	0,95	1%	5.683,6363	864.016,4
Web Browser	62,53	1.800	0,05	1%	250,11	1.800	0,05	1%	5.684,545	22.737,27
File Transfer	140,7	600	1	1%	750,34	600	1	1%	85.266,67	454.751,5

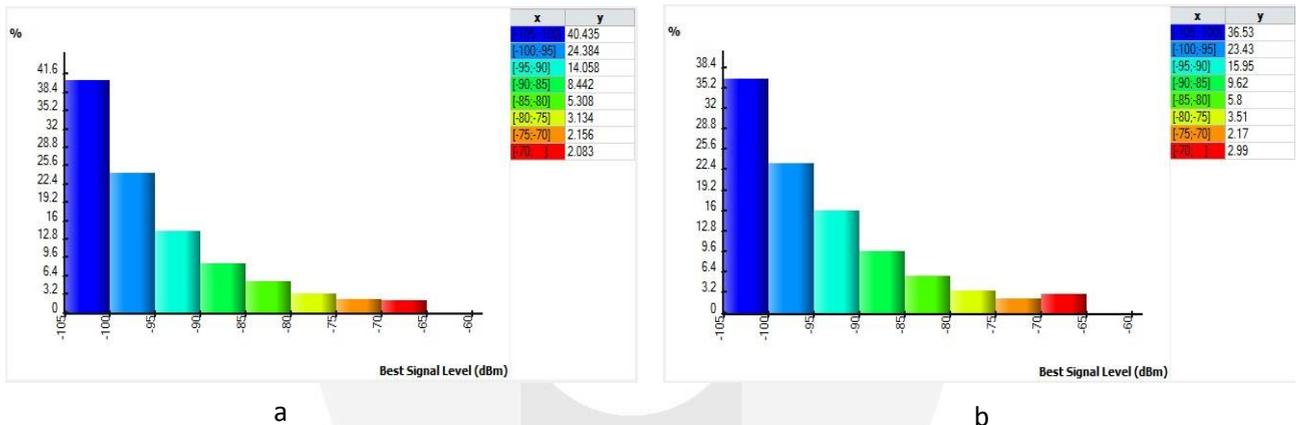
Jika diasumsikan terdapat 200 user yang ingin mengakses jaringan LTE dalam suatu sel, dengan persyaratan setiap user harus mendapatkan downlink minimum 256 Kbps maka akan didapat kebutuhan network throughput sebesar:

$$\text{Network Throughput} = \text{Total Number of User} \times \text{Single User Throughput}$$

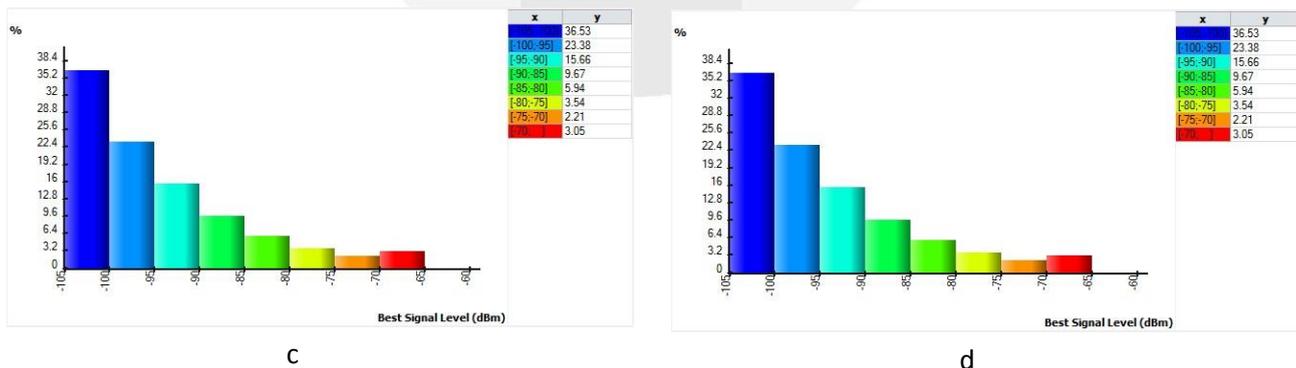
$$\text{Network Throughput} = 200 \times 256 \text{ Kbps} = 51.2 \text{ Mbps}$$

#### 4. Hasil Simulasi dan Analisis

##### 4.1 Hasil Simulasi coverage by signal level



Gambar4.1 (a) Skenario Macro (b) Skenario Pico I

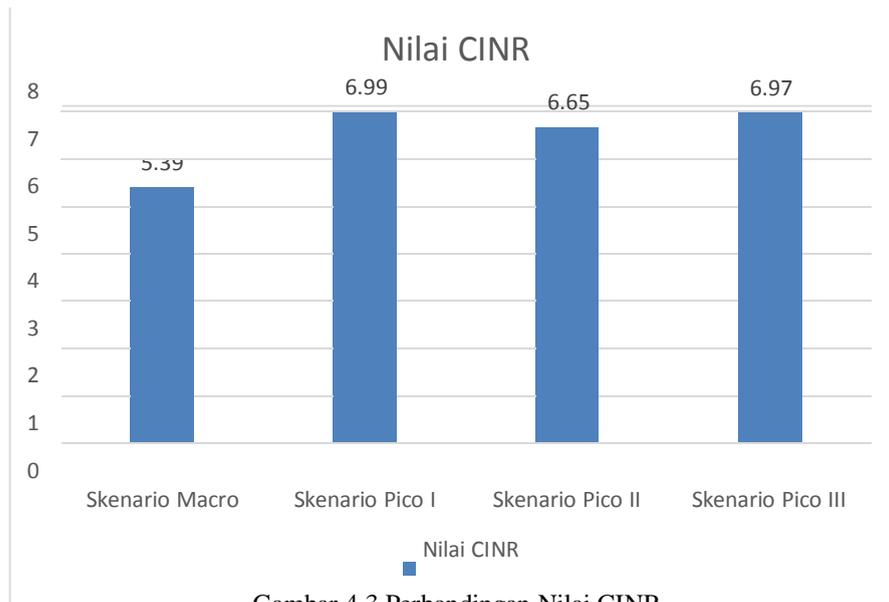


Gambar 4.2 (c) Skenario Pico II (d) Skenario Pico III

Dari segi parameter coverage by signal level, terlihat bahwa implementasi pico cell dapat meningkatkan signal level sistem yang sudah ada. Ini dapat dilihat pada gambar b terjadi kenaikan signal level setelah implementasi pico cell. Dari hasil skenario Macro didapat nilai signal level rata-rata sebesar -80.24 dBm, setelah implementasi pico cell nilai signal level naik menjadi -60.38 dBm. Antara skenario Pico I dan Pico II terjadi perbedaan nilai signal level dikarenakan menggunakan band frekuensi yang berbeda. Penggunaan metode eICIC tidak berdampak pada sisi signal level, hal ini

bisa dilihat dari skenario Pico III yang memiliki nilai signal level yang sama dengan skenario Pico II.

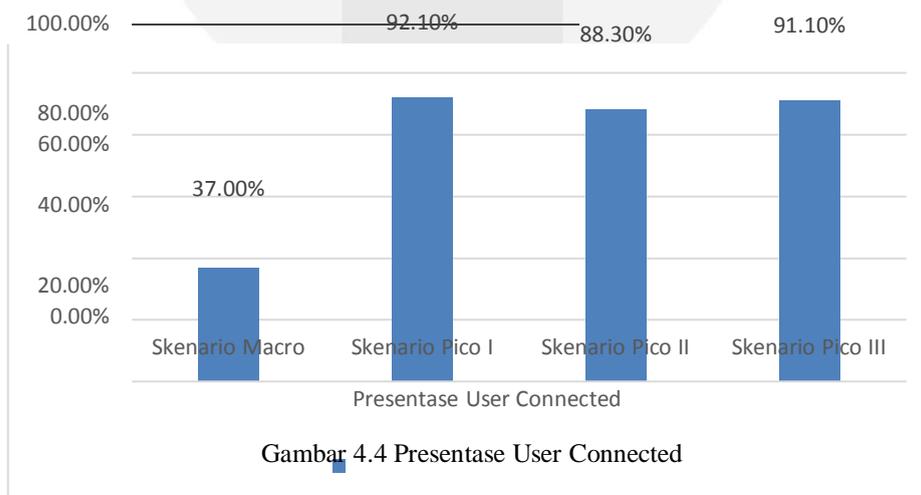
**4.2 Hasil Simulasi CINR level**



Gambar 4.3 Perbandingan Nilai CINR

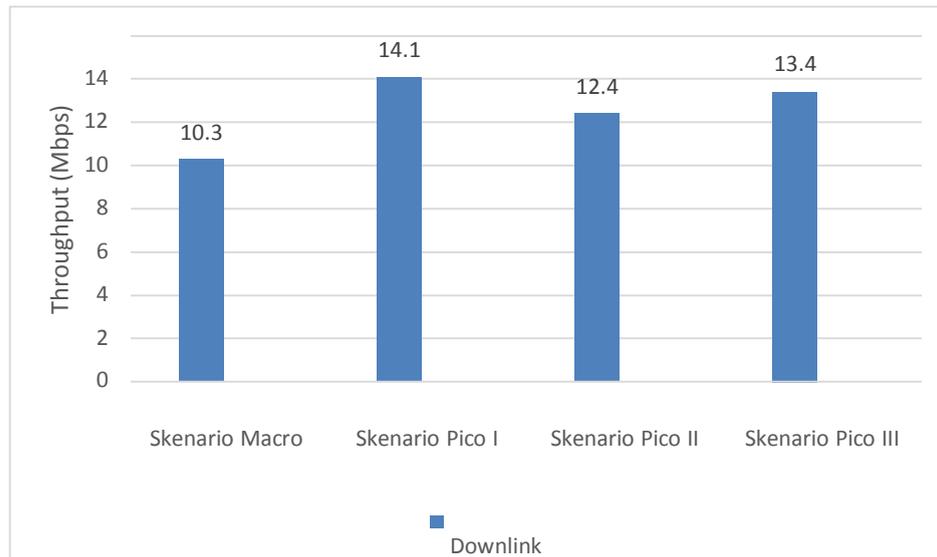
Pada skenario Macro didapat nilai CINR sebesar 5.39 dB. Setelah implementasi pico cell, nilai CINR nya meningkat menjadi 6.99 dB. Akan tetapi pada skenario Pico II terjadi penurunan CINR menjadi 6.65 dB, hal ini disebabkan pico cell menggunakan frekuensi yang sama dengan macro cell sehingga menyebabkan terjadi nya interferensi. Masalah ini bisa diatasi dengan mengaplikasikan metode eICIC yang bisa dilihat pada skenario Pico III, sehingga CINR yang didapat menjadi 6.97 dB.

**4.3 Hasil Simulasi Throughput dan User Connected**



Gambar 4.4 Presentase User Connected

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa skenario Macro yang hanya terdiri dari macro cell saja kurang mampu melayani user sejumlah 200 dengan jaminan kecepatan minimum 256 Kbps. Hal ini terlihat dari jumlah user connected yang hanya 35.6 %. Setelah implementasi pico cell terlihat terdapat peningkatan presentasi user connected menjadi 92.1 % pada skenario Pico I. Pada skenario Pico II terjadi penurunan 3.8% dibanding skenario Pico I, hal ini diakibatkan adanya interfeferensi antar macro dan pico cell sehingga menyebabkan performansi sistem menurun. Oleh karena itu perlu diaplikasikan metode eICIC untuk meminimalisir dampak interferensi yang terjadi. Seperti yang dapat dilihat pada skenario Pico III setelah dikonfigurasi eICIC pada macro cell, performansi sistem kembali meningkat, presentase user connected nya mencapai 91.1%.



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai Throughput Downlink

Dari hasil simulasi monte carlo terlihat throughput yang dihasilkan pada skenario Macro tidak bisa mencapai network throughput demand minimum sebesar 51 Mbps. Maka dari itu perlu adanya peningkatan kapasitas sistem secara optimal. Pada penelitian ini peningkatan kapasitas dilakukan dengan menambahkan pico cell pada daerah tepi sel. Setelah implementasi dari pico cell terlihat terjadi kenaikan performansi sistem dari sisi throughput, throughput sistem yang asalnya hanya 10.3 Mbps, sekarang naik menjadi 14.1 Mbps setelah ditambah pico cell. Selain itu penggunaan metode eICIC juga berpengaruh dalam menaikkan throughput sistem secara keseluruhan hingga mencapai nilai 13.4 Mbps.

#### 4. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil simulasi, implementasi *pico cell* dapat meningkatkan *signal level* sistem secara keseluruhan. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai *signal level* setelah implementasi *pico cell* pada skenario Pico I sebesar 19.86 dBm. Akan tetapi konfigurasi eICIC tidak mempengaruhi *signal level* seperti yang terlihat pada skenario Pico III dimana nilai *signal level*nya tidak ada perbedaan jika dibandingkan dengan skenario Pico II yaitu sebesar -59.01 dBm.
2. Berdasarkan parameter CINR terlihat bahwa implementasi *pico cell* dapat meningkatkan nilai CINR sistem secara keseluruhan. Hal ini bisa dilihat pada skenario Pico I terjadi peningkatan nilai CINR sebesar 1.6 dB. Pada simulasi Pico III terlihat bahwa konfigurasi eICIC terbukti dapat meminimalisir dampak interferensi yang terjadi. Hal ini bisa dilihat dari hasil CINR skenario Pico III terjadi peningkatan sebesar 0.32 dB jika dibandingkan dengan skenario Pico II.
3. Berdasarkan parameter *connected user*, implementasi *pico cell* terbukti dapat meningkatkan kapasitas jaringan secara signifikan hal ini terlihat pada peningkatan jumlah *connected user* pada skenario Pico I sebesar 56.5 %. Selain itu konfigurasi eICIC juga dapat meningkatkan jumlah *connected user* pada skenario Pico III dengan selisih 2.8 % jika dibandingkan dengan skenario Pico II.
4. Berdasarkan parameter throughput terlihat bahwa implementasi *pico cell* merupakan cara yang paling efektif untuk meningkatkan kapasitas sistem. Terlihat pada skenario Pico I terjadi peningkatan *throughput* rata-rata sel sebesar 3.8 Mbps jika dibandingkan dengan skenario Macro. Selain itu pico cell juga merupakan solusi peningkatan kapasitas yang memiliki tingkat efisiensi spektral yang tinggi bila menggunakan skenario Pico III. Akan tetapi konfigurasi eICIC harus dilakukan secara hati-hati, jika tidak bisa menimbulkan penurunan throughput macro cell.
5. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, setiap skenario memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Dari sisi performansi terlihat bahwa skenario Pico I memiliki performansi yang paling baik dibanding skenario lain. Hanya saja dari sisi efisiensi spektral skenario Pico I memiliki nilai efisiensi spektral yang rendah, dikarenakan harus menambah *bandwidth* kanal 10 MHz baru di frekuensi yang lain. Sebaliknya skenario Pico II memiliki performansi yang kurang baik dibandingkan skenario Pico I akan tetapi pada Pico II nilai spektral efisiensi nya paling tinggi dibanding skenario Pico I. Dan skenario ini cocok di implementasikan oleh operator yang memiliki alokasi spektrum frekuensi yang terbatas. Dengan konfigurasi eICIC performansi Pico II bisa ditingkatkan terutama pada parameter CINR, *connected user*, dan *throughput*.

## Daftar Pustaka:

- [1] Ruiz David Grande, Performance Analysisid of QoS in LTE-Advanced Heterogeneous Networks:Master Thesis 2013
- [2] Acharya Joydeep, Gao Long, Gaur Sudhanshu, Heterogenous Network in LTE-Advanced. Willey. 2014
- [3] Huawei, "LTE Radio Network Planning Capacity Dimensioning," Huawei, Shenzhen, 2010.
- [4] A. Elnashar, M. A. El-saidny and M. R. Sherif, Design, Deployment and performance of 4G LTE Networks, Chichester: John Wiley & Sons, 2014.
- [5] Telkomsel, "LTE Plan 1800 10 MHz Bandung Extend v2", Telkomsel, 2015