

## PERBANDINGAN KINERJA SISTEM LTE-ADVANCED DENGAN FITUR CARRIER AGGREGATION MENGGUNAKAN METODE SFR DAN FFR DI WILAYAH JAKARTA SELATAN

## COMPARISON OF LTE-ADVANCED SYSTEM PERFORMANCE WITH CARRIER AGGREGATION FEATURE USING SFR AND FFR METHODE IN SOUTH JAKARTA

Ananda Putri Almira<sup>1</sup>, Achmad Ali Muayyadi<sup>2</sup>, Arfianto Fahmi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[anandaptralmira@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:anandaptralmira@students.telkomuniversity.ac.id)

<sup>2</sup>[alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id](mailto:alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup>[arfiantof@telkomuniversity.ac.id](mailto:arfiantof@telkomuniversity.ac.id)

**Abstract:** *The high interest of mobile users towards internet access causes an increase in traffic. Therefore, enhancement are made for capacity so that market demand and traffic needs can be met. The solution to deal with this problem is to use frequency spectrum efficiently. However, the limited frequency spectrum which are available becomes a problem to provide capacity. The presence of LTE Advanced to use Carrier Aggregation feature can utilize bandwidth to increase capacity. Although these techniques can cause high interference, it can be combined with the frequency reuse method as interference management.*

*In this Final Project, LTE Advanced network planning carried out with carrier aggregation feature at frequencies 1800 MHz and 2100 MHz. Optimal performances is expected by using additional scenarios which are performed using the Soft Frequency Reuse (SFR) and Fractional Frequency Reuse (FFR) methods. Reference parameters from the simulation results include RSRP, SINR, throughput, and user connected using Atoll software.*

*This Final Project produces an influence on LTE-A network performance by applying FFR and SFR. For CA scenarios with FFR, the RSRP value obtained is 1.64 dBm better than the SFR. At the SINR parameter, the CA scenario with SFR connected around 100 users than those who only use carrier aggregation. gives a better value with a difference of 1.69 dB than FFR. While the SFR and FFR methods have decreased in the value of throughput around 5000 - 8000 Kbps and decreased in the number of user*

**Keywords:** LTE-Advanced, Carrier Aggregation, SFR, FFR

**Abstrak:** *Tingginya minat pengguna mobile terhadap akses internet menyebabkan terjadinya peningkatan trafik. Oleh karena itu, dilakukan upaya peningkatan kapasitas agar permintaan pasar dan kebutuhan trafik dapat terpenuhi. Salah satu cara menangani permasalahan tersebut adalah adanya pemanfaatan spektrum frekuensi secara efisien. Namun keterbatasan spektrum frekuensi yang tersedia menjadi masalah untuk menyediakan kapasitas. Hadirnya LTE-Advanced untuk menggunakan fitur Carrier Aggregation dapat memanfaatkan bandwidth untuk meningkatkan kapasitas. Karena teknik tersebut dapat mengakibatkan interferensi yang tinggi, maka dikombinasikan dengan metode frequency reuse sebagai manajemen interferensi.*

*Pada Tugas Akhir ini dilakukan perencanaan jaringan LTE-A disertai fitur carrier aggregation pada frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz. Untuk mencapai performansi yang optimal, dilakukan skenario tambahan dengan metode Soft Frequency Reuse (SFR) dan Fractional Frequency Reuse (FFR). Parameter acuan dari hasil simulasi diantaranya RSRP, SINR, throughput, dan user connected yang menggunakan software Atoll.*

*Tugas Akhir ini menghasilkan pengaruh terhadap performansi jaringan LTE-A dengan penerapan FFR dan SFR. Untuk skenario CA dengan FFR, nilai RSRP yang didapat lebih bagus 1.64 dBm dibanding dengan SFR. Pada parameter SINR, skenario CA dengan SFR memberikan nilai lebih bagus dengan selisih 1.69 dB daripada FFR. Sedangkan metode SFR dan FFR mengalami penurunan pada nilai throughput sekitar 3 - 8 Mbps dan penurunan jumlah user connected sekitar 100 user daripada yang hanya menggunakan carrier aggregation.*

**Kata kunci:** LTE-Advanced, Carrier Aggregation, SFR, FFR

## PENDAHULUAN

Saat ini adanya teknologi *Long Term Evolution Advanced* (LTE-A) yang disiapkan oleh 3GPP merupakan teknologi *release* 10. Teknologi ini memiliki efisiensi spektrum yang tinggi dan dilengkapi fitur *carrier aggregation*. Karena dengan fitur ini adanya kemungkinan untuk menggabungkan *carrier* dari frekuensi sama atau berbeda. Fitur ini memanfaatkan *bandwidth* sehingga meningkatkan kapasitas pada jaringan yang tersedia. Dalam penggabungan *carrier*, dapat terjadinya interferensi yang tinggi untuk *user* yang saling bertabrakan dan dapat melemahkan sinyal satu sama lain yang mempengaruhi kapasitas dari *cell* tersebut.

Pengguna teknologi LTE yang berdekatan dapat mengakibatkan permasalahan interferensi antar *user* yang memiliki frekuensi yang sama meskipun *user* tersebut berada di *cell* yang berbeda. Hal ini dapat dikatakan sebagai *Inter-cell-interference* (ICI). Untuk menangani kasus ini, dapat dilakukan dengan cara manajemen interferensi yang bertujuan untuk mengurangi faktor ICI dan pengalokasian frekuensi yang semaksimal mungkin. Sehingga memperbesar kemungkinan untuk *user* yang memiliki frekuensi yang sama akan efisien dalam penggunaannya. Sehingga dapat meningkatkan nilai SINR dari *user* yang akan berdampak pada maksimalnya cakupan area sekaligus dapat meningkatkan kapasitas di suatu area.

Pada penelitian ini membahas mengenai analisis dari perencanaan jaringan LTE-Advanced dengan fitur *Carrier Aggregation* di frekuensi 1800 MHz sebagai *primary cell* dan 2100 MHz sebagai *secondary cell*. Perencanaan ini dikombinasikan dengan skema *frequency reuse* yaitu SFR dan FFR. Objek yang dipilih untuk dilakukan perencanaan adalah wilayah Jakarta Selatan dengan luas wilayah sekitar 141,37 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk 2.246.137 jiwa pada tahun 2018. Wilayah ini dipilih sebagai objek penelitian karena kawasan ini memiliki *traffic* yang tinggi dan menjadi pusat kegiatan perkantoran.

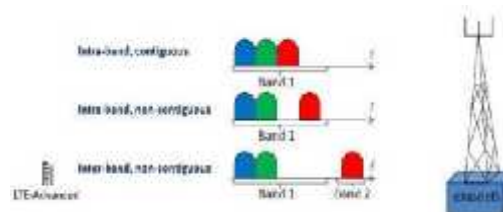
## KAJIAN TEORI

### Long Term Evolution-Advanced (LTE-A)

Dengan selesainya LTE *release* 8, 3GPP mengeluarkan LTE-Advanced dalam *release* 10, 11, dan 12. Teknologi ini diharapkan mampu untuk memberikan *data rate* yang lebih tinggi pada sisi *downlink* atau *uplink*. 3GPP sendiri mengembangkan kemampuan LTE-A dengan dukungan *bandwidth* yang mencapai 100 MHz melalui fitur *carrier aggregation*. LTE-A juga meningkatkan efisiensi spektrum yang semula hanya 16 bps/Hz menjadi 30 bps/Hz dan meningkatkan *peak data rate* menjadi 1 Gbps pada *downlink* dan 500 Mbps pada *uplink* (Rysavy Research, 2012).

### Carrier Aggregation

*Carrier aggregation* merupakan sebuah teknologi yang memungkinkan jaringan untuk berjalan di dua atau lebih frekuensi secara bersamaan dengan menggabungkan beberapa *component carrier* sehingga bertambahnya lebar *bandwidth* untuk mencapai nilai *throughput* yang lebih baik. Penggabungan *component carrier* dapat mencapai 100 MHz tergantung pada ketersediaan spektrum dan *User Equipment*. Manfaat dari CA yaitu dapat meningkatkan kecepatan, meningkatkan kapasitas, dan pemanfaatan spektrum frekuensi menjadi lebih efisien (4G Americas, 2014).



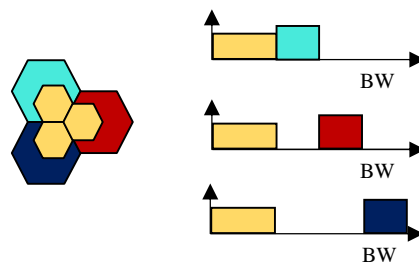
Gambar 2.1 Carrier Aggregation

## Frequency Reuse

*Frequency reuse* adalah skema pengulangan frekuensi yang sama namun pada area yang berbeda. Adanya *frequency reuse* dikarenakan penghematan terhadap pemakaian kebutuhan pada *coverage area* namun terhalang oleh terbatasnya spektrum frekuensi untuk memperluas cakupan implementasi jaringan. Dalam *frequency reuse* terdapat *Frequency Reuse Factor* (FRF) yaitu pengulangan frekuensi yang sama pada sel lain. Semakin besar nilai FRF maka performansi semakin bagus karena minim terjadinya interferensi.

## Fractional Frequency Reuse

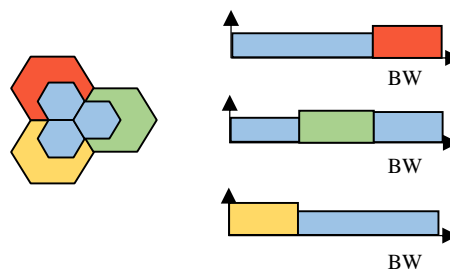
*Fractional Frequency Reuse* (FFR) adalah salah satu teknik *inter-cell interference* untuk meningkatkan performansi jaringan. Teknik FFR membagi menjadi 2 area, *cell center* dan *cell edge*. FFR menggabungkan 2 teknik *frequency reuse*. Dimana pada *cell center* menggunakan FR tipe 1, dan pada *cell edge* menggunakan FR tipe 3 (Uke Kurniawan Usman, Galuh Prihatmoko, Denny Kusuma Hendraningrat, 2012).



Gambar 2.2 Fractional Frequency Reuse

## Soft Frequency Reuse

*Soft Frequency Reuse* diperkenalkan dapat meningkatkan performansi jaringan dengan membagi 2 area cakupan, *cell center* dan *cell edge*. Area cakupan pada *cell center* menggunakan daya pancar rendah untuk meminimalisir interferensi. Sedangkan pada *cell edge* menggunakan daya pancar yang besar untuk meningkatkan SINR pada *user* di area tersebut (Uke Kurniawan Usman, Galuh Prihatmoko, Denny Kusuma Hendraningrat, 2012).



Gambar 2.3 Soft Frequency Reuse

## Planning by Capacity

*Capacity planning* adalah perhitungan dalam merencanakan jaringan berdasarkan kapasitas dengan mempertimbangkan kebutuhan *traffic* dan beberapa parameter input. Secara garis besar, proses perhitungan *capacity planning*, yaitu *traffic forecasting*, *throughput per session*, *single user throughput*, dan *cell capacity* (Tech, 2013a).

## Traffic Forecasting

Tujuan dari perhitungan *traffic forecasting* adalah mendapatkan prediksi jumlah *user* dalam beberapa tahun kedepan yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (1)$$

Pt adalah jumlah penduduk pada tahun ke-t, Po adalah jumlah penduduk usia produktif, r adalah laju pertumbuhan penduduk (dalam %), dan n yaitu periode waktu antara tahun awal hingga tahun t (biasanya 5 tahun)

### Throughput per Session

Permintaan *throughput* pada jaringan harus mampu dipenuhi. Untuk mengetahui besar *throughput* minimal yang harus disediakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2)

$$\text{Throughput per session} = \text{bearer rate} \times \text{session time} \times \text{session duty ratio} \times \left[ \frac{1}{1 - \text{BLER}} \right] \quad (2)$$

*Throughput per session* yaitu nilai *throughput* minimal yang harus disediakan (Kbit), *bearer rate* yaitu *data rate* yang harus disediakan (Kbps), *session time* adalah durasi per layanan (s), *session duty ratio* yaitu rasio data yang dikirim tiap sesinya, dan BLER adalah *block error rate* yang diizinkan dalam 1 sesi.

### Single User Throughput dan Network Throughput

*Single User Throughput* (SUT) adalah nilai *throughput* minimal per *user* agar layanan dapat bekerja. SUT dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3)

$$\text{Single User Throughput} = \frac{\sum (\text{throughput}_i) \times \text{BHSA} \times \text{PR} \times (1 + \text{Peak to Average Ratio})}{98\%} \quad (3)$$

BHSA adalah perkiraan penggunaan layanan di jam sibuk, *penetration rate* (PR) adalah penetrasi penggunaan layanan, dan *Peak to Average Ratio* adalah asumsi persentasi nilai yang ditambah apabila terjadinya lonjakan trafik. Setelah mendapat nilai SUT, untuk mendapat seberapa besar kebutuhan *throughput* pada *layer* MAC pada keseluruhan wilayah yang ditinjau dapat menggunakan persamaan (4).

$$\text{Network Throughput (MAC)} = \frac{\text{Total user Number} \times \text{SUT}}{98\%} \quad (4)$$

Dimana, *total user number* yaitu prediksi jumlah pelanggan aktif, SUT yaitu *Single User Throughput*, dan nilai 98% adalah nilai hasil proses konversi dari *layer* IP ke *layer* MAC.

### Throughput per Cell

Perhitungan *throughput per cell* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas maksimal *throughput* yang mampu ditangani oleh suatu *cell*. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan persamaan (5).

$$\text{Cell Capacity} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code Rate}) \times \text{Nrb} \times 1000 \quad (5)$$

### Single Site Capacity

Perhitungan *single site capacity* digunakan untuk menghitung jumlah *site*. Karena pada perencanaan menggunakan 3 sektor, maka dapat dihitung dengan persamaan (6)

$$\text{Single Site Capacity} = \text{Cell Average Throughput (MAC)} \sum P_n \times (R_n \text{ DL}) \times 3 \quad (6)$$

### Jumlah Site

Untuk mengetahui jumlah *site* akhir berdasarkan *capacity planning* yang digunakan untuk simulasi selanjutnya dapat dihitung menggunakan persamaan (7)

$$\text{jumlah site} = \frac{\text{Network Throughput Layer MAC}}{\text{Single Site Capacity}} \quad (7)$$

### Planning by Coverage

Perhitungan *coverage planning* merupakan metode perencanaan untuk memastikan jaringan dapat memberikan layanan pada daerah tinjauan dengan memperhatikan redaman

yang terjadi sepanjang lintasan yang dilalui oleh gelombang antara eNodeB dengan UE. Secara garis besar, proses perhitungan *coverage planning* yaitu: perhitungan *link budget*, perhitungan jari-jari sel, perhitungan luas cakupan sel, dan perhitungan jumlah *site* (Tech, 2013b).

### Perhitungan Link Budget

Dalam *coverage planning*, perhitungan *link budget* adalah hal awal yang dilakukan untuk mengetahui nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) (A. EINashar, M. A. EL-saidny, 1393).

**Tabel 2.1** Perhitungan MAPL

Parameter	Unit	Formula	Scale
Max. Total UE Tx Power	dBm	A	23
Tx Antenna Gain	dBi	G	0
Tx Body Loss	dB	I	0
EIRP per Subcarrier	dBm	J = A+G+I	23
SINR	dB	K	-7
ENodeB Noise Figure	dB	L	2.3
Rx Sensitivity	dBm	M = K+L-174+10 Log (15000)	-136.94
Thermal Noise	dB	N	-131.42
Rx Antenna Gain	dBi	O	18
Rx Cable Loss	dB	P	2
Interference Margin	dB	Q	2
Min. Signal Reception Strength	dBm	R = M-O+P+Q	-150.94
Penetration Loss	dB	S	19
Shadow Fading Margin	dB	T	9.43
MAPL	dB	U = J-R-S-T	145.51

### Perhitungan Jari-jari Sel

Untuk menentukan jari-jari sel, dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(hb) - \alpha(hr) + (44.9 - 6.55 \log(hb)) \log(d) + C \quad (8)$$

### Perhitungan Luas Cakupan Sel

Setelah mendapat hasil dari jari-jari sel, dapat menghitung *cell coverage* untuk area tersebut dengan menggunakan persamaan (9).

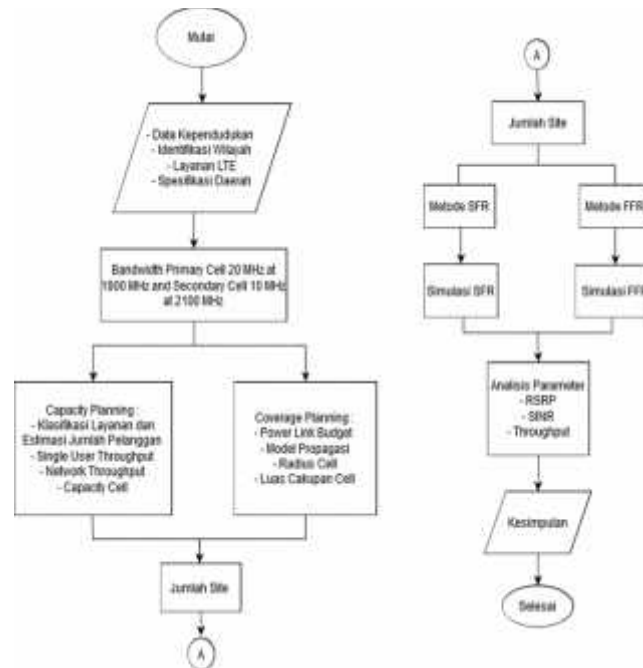
$$\text{Luas cakupan sel} = 1.95 \times d \times d \quad (9)$$

### Perhitungan Jumlah Site

Perhitungan akhir dari *coverage planning* adalah memperhitungkan hasil bagi antara luas wilayah perencanaan dengan luas cakupan sel, sesuai dengan persamaan (10)

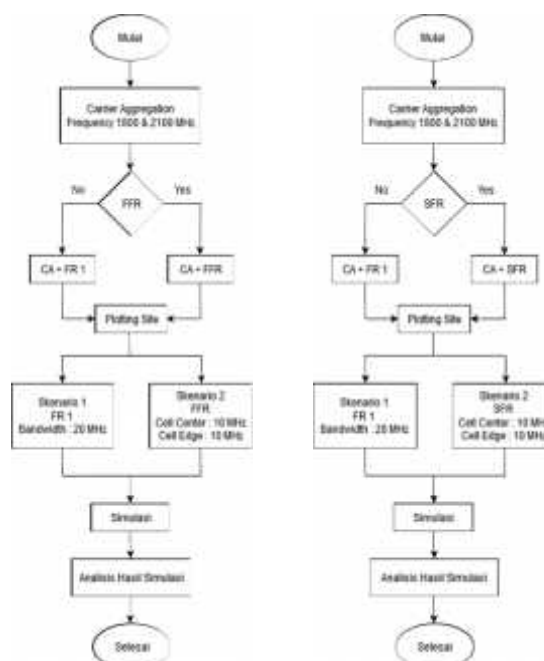
$$\text{Jumlah site} = \frac{\text{Luas area perencanaan}}{\text{Luas cakupan sel}} \quad (10)$$

**METODE**  
**Diagram Alir**



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan

**Flowchart Pengerjaan SFR dan FFR**



**Gambar 3.2** Flowchart Pengerjaan SFR dan FFR

## Identifikasi Wilayah



**Gambar 3.3** Peta Wilayah Jakarta Selatan

Kota Administrasi Jakarta Selatan adalah sebuah wilayah yang terletak antara 106°45'0.00 Bujur Timur (BT) dan 06°15'408 Lintang Selatan (LS)[14]. Yang terdiri dari 10 kecamatan dan 65 kelurahan dan mempunyai luas sebesar 141,37 km<sup>2</sup> yang dihuni oleh 2.246.137 jiwa dengan kepadatan penduduk sebesar 15.889/km<sup>2</sup> (Selatan, 1393)

### Hasil Planning by Capacity

Berdasarkan langkah-langkah pada *capacity planning*, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Hasil Perhitungan *Capacity Planning*

Parameter	Dense Urban	
	Uplink	Downlink
Frekuensi	1800	
Total Target User	442781 user	
Network Throughput (Mbps)	3547.136	14509.97
Cell Throughput Capacity (Mbps)	40.44	33.70
Single Site Capacity (Mbps)	121.31	101.09
Number of Site	29	144
Number of User per Site	15.269	3.075
Cell Coverage (Km <sup>2</sup> )	4.83	0.98
Cell Radius (KM <sup>2</sup> )	0.98	0.44

## PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan terdiri dari 6 skenario yaitu, simulasi Non CA, simulasi CA, simulasi Non CA+FFR, simulasi CA+FFR, simulasi Non CA+SFR dan simulasi CA+SFR. Simulasi menggunakan jumlah *site* berdasarkan perhitungan pada *capacity planning*, yaitu 144 *site*. Simulasi yang dilakukan terhadap beberapa parameter, diantaranya RSRP, SINR, *throughput*, dan presentase *connected user*.

### Analisis Parameter RSRP



**Gambar 4.1** Hasil Simulasi Parameter RSRP (a) FFR (b) SFR

**Tabel 4.1** Rata-rata Nilai RSRP

RSRP (dBm)	CA	CA + FFR	CA + SFR
	-100.94	-102.58	-103.57

Pada simulasi terhadap parameter RSRP, hasil pada skenario CA+FFR menghasilkan nilai -102.58 dBm lebih bagus sebesar 0.99 dBm daripada skenario CA+SFR yang hanya sebesar -103.57 dBm. Skema FFR dan SFR memberikan efek buruk pada RSRP karena tanpa menerapkan skema tersebut nilai RSRP sebesar -100.94 dBm. Namun, nilai pada CA+FFR dan CA+SFR tersebut berdasarkan standar *Key Performance Indicator* (KPI) berada pada status *intermediate*.

### Analisis Parameter SINR



**Gambar 4.2** Hasil Simulasi Parameter SINR (a) FFR (b) SFR

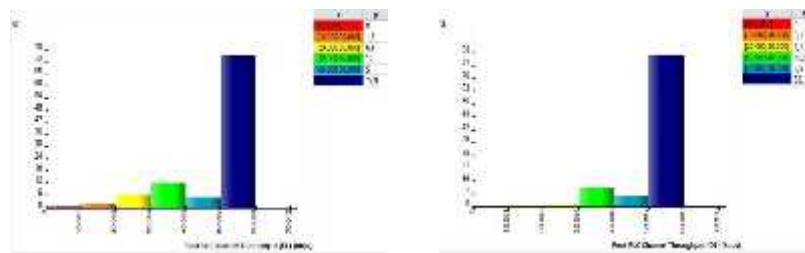
**Tabel 4.2** Rata-rata Nilai SINR

SINR (dB)	CA	CA + FFR	CA + SFR
	22.38	23.5	25.19

Pada simulasi terhadap parameter SINR, skema FFR dan SFR memberikan efek bagus pada parameter SINR karena membantu meminimalisir interferensi yang mengalokasikan daya untuk *cell center* dan *cell edge*. Pada skenario CA, SINR menghasilkan nilai 22.38 dB, ketika menerapkan FFR nilai SINR naik 1.12 dB, sedangkan ketika menerapkan SFR nilai SFR mengalami kenaikan sebesar 1.69 dB.



### Analisis Parameter Throughput



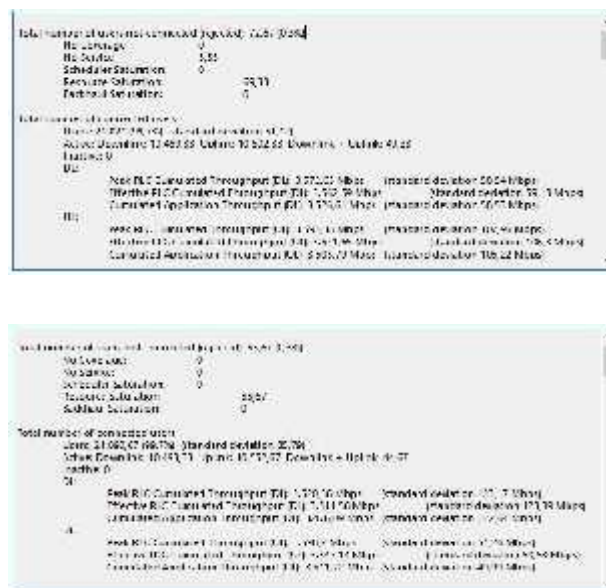
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Parameter *Throughput* (a) FFR (b) SFR

Tabel 4.3 Rata-rata Nilai *Throughput*

<i>Throughput</i> (Kbps)	CA	CA + FFR	CA + SFR
	60.025	51.945	54.928

Pada simulasi terhadap parameter *throughput*, skema FFR dan SFR memberikan efek buruk pada parameter *throughput*. Pada skenario CA, menghasilkan nilai *throughput* sampai 60 Mbps, ketika menerapkan FFR nilai *throughput* turun hingga 8 Mbps karena *bandwidth* pada FFR tidak terpakai semua, sedangkan ketika menerapkan SFR nilai *throughput* mengalami kenaikan sebesar 3 Mbps dari skema FFR.

### Analisis Persentase User Connected



Gambar 4.4 Perbandingan Simulasi Parameter *User Connected* (a) FFR (b) SFR

Dari gambar diatas disimpulkan bahwa skema FFR dan SFR memberikan efek yang baik pada jumlah *user connected*. Pada metode FFR, dengan kondisi terdapat *bandwidth* yang tidak terpakai, maka jumlah *user connected* pada FFR lebih sedikit daripada metode SFR. Sedangkan metode SFR dengan kondisi *bandwidth* yang terpakai semua maka jumlah *user connected* lebih banyak daripada FFR, dengan perbedaan 70 user.

## Rangkuman Hasil Analisa

Tabel 4.4 Hasil Analisa

Parameter	Hasil Analisa			
	Non CA+FFR	CA+FFR	Non CA+SFR	CA+SFR
RSRP (dBm)	-105.43	-102.58	-106.3	-103.57
SINR (dB)	8.88	23.5	9.61	25.19
Throughput (Kbps)	23.985	51.945	28.398	54.928
User Connected (%)	97.7	99.7	98.5	99.7

### KESIMPULAN

1. Pemenuhan kebutuhan trafik di Kota Jakarta Selatan, menggunakan metode perancangan yaitu *capacity planning*, dimana jumlah *site* yang digunakan untuk simulasi sebanyak 144 *site*.
2. Skema FFR dan SFR memberikan efek buruk untuk parameter RSRP. Pada skenario CA sebelum menerapkan skema FFR dan SFR sebesar -100.94 dBm, setelah menerapkan FFR mengalami penurunan sebesar -1.64 dBm menjadi -102.58 dBm. Dan untuk skema SFR nilai RSRP menjadi semakin menurun sebesar -0.99 dBm menjadi -103.57 dBm.
3. Nilai SINR yang paling baik dihasilkan pada skenario dengan diterapkannya SFR sebesar 25.19 dB. Kemudian, mengalami penurunan dengan selisih sebesar 1.69 dB menjadi 23.5 dB untuk nilai SINR pada skenario FFR. Sedangkan nilai SINR terendah dihasilkan pada skenario penerapan CA sebesar 22.38 dB dengan selisih sebesar 1.12 dB dari skenario FFR.
4. Penerapan skema SFR dan FFR memberikan efek buruk pada parameter *throughput*. Sebelum menerapkan FFR dan SFR, *throughput* yang didapat sebesar 60 Mbps. Kemudian mengalami penurunan sampai 9 Mbps menjadi 51 Mbps pada skenario FFR. Tetapi setelah diterapkan SFR nilai *throughput* mengalami kenaikan sebesar 3 Mbps menjadi sebesar 54 Mbps dari skenario FFR.
5. Penggunaan metode SFR menghasilkan jumlah *user connected* lebih banyak daripada metode FFR. Perbedaan jumlah *user* yang lebih banyak sampai 70 *user* daripada skenario FFR. Hal ini dikarenakan adanya *bandwidth* pada FFR yang tersisa.
6. Berdasarkan hasil simulasi pada keempat parameter menghasilkan kesimpulan bahwa penerapan fitur CA yang menerapkan metode SFR layak diterapkan pada perencanaan jaringan di Kota Jakarta Selatan dengan kebutuhan *traffic* yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- 4G Americas. (2014). *4G Americas LTE Carrier Aggregation October 2014 1. October*.
- A. ElNashar, M. A. EL-saidny, and M. S. (1393). *Design, Deployment and Performance of 4G LTE Networks*.
- Rysavy Research. (2012). *Mobile Broadband Explosion (The 3GPP Wireless Evolution)*. 4G, 1–144.  
[http://www.4gamericas.org/files/5414/0759/4533/4G\\_Americas\\_Mobile\\_Broadband\\_Explosion\\_August\\_20121.pdf](http://www.4gamericas.org/files/5414/0759/4533/4G_Americas_Mobile_Broadband_Explosion_August_20121.pdf)
- Selatan, B. P. S. K. A. J. (1393). *Kota Administrasi Jakarta Selatan Dalam Angka 2019*. 93.
- Tech, H. (2013a). *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*.
- Tech, H. (2013b). *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*.
- Uke Kurniawan Usman, Galuh Prihatmoko, Denny Kusuma Hendraningrat, S. D. P. (2012). *Fundamental Teknologi Seluler LTE (1st ed.)*. Rekayasa Sains.