

ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE – ADVANCED MENGGUNAKAN METODE FRACTIONAL FREQUENCY REUSE DAN FITUR CARRIER AGGREGATION DI DKI JAKARTA

ANALYSIS OF LTE – ADVANCED PLANNING WITH FRACTIONAL FREQUENCY REUSE METHOD AND CARRIER AGGREGATION FEATURE ON DKI JAKARTA

Ayu Tika Permatasari¹, Hafidudin A.Md, S.T, M.T²., Linda Meylani S.T, M.T³

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

¹ayutikapermatasari@gmail.com, ²hafidudin@telkomuniversity.ac.id, ³lindameylani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

LTE Advanced merupakan teknologi generasi ke 4 (4G) yang memberikan fitur-fitur terbaru demi mencapai data rate yang tinggi. Data rate untuk LTE Advanced diharapkan mencapai 1 Gbps untuk sisi downlink dan 300 Mbps untuk sisi uplink. Salah satu fitur yang menjadi faktor bertambahnya data rate adalah dengan teknik *Carrier Aggregation*. Namun untuk mencapai performansi yang maksimal pada jaringan LTE dapat terhambat karena permasalahan *co-channel interference*.

Untuk mencapai performansi jaringan yang optimal, dilakukanlah metode *frequency reuse* sebagai *management interference* dan penambahan fitur *carrier* Skema *frequency reuse* yang digunakan adalah *Fractional Frequency Reuse* yaitu membagi sel menjadi dua daerah, *cell edge* dan *cell centre* dengan menggunakan daya pancar yang berbeda. Sedangkan skema penerapan *carrier aggregation* yang digunakan adalah *carrier aggregation deployment scenario 3* dengan menggunakan dua band frekuensi dan pola pancara yang berbeda.

Parameter yang dianalisis pada jurnal kali ini adalah RSRP, CINR, *Connected user* dan *Throughput*. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa penerapan FFR pada skenario CA terjadi efek yang beragam pada setiap parameter. Terjadi peningkatan CINR, namun *throughput* dan *connected user* mengalami penurunan performansi dikarenakan terdapat bandwidth yang tidak terpakai di tiap sel nya. Namun penerapan FFR meningkatkan *cell edge throughput* jika dibandingkan tanpa penerapan FFR yang hanya menghasilkan *throughput* yang tinggi pada *cell center*.

Kata Kunci : LTE Advanced, *Carrier Aggregation*, FFR

Abstract

LTE Advanced technology is the 4th generation (4G), which provides the latest features to achieve high data rate . The data rate for LTE Advanced are expected to reach 1 Gbps for the downlink and 300 Mbps for the uplink . One feature is a factor increasing the data rate is the engineering Carrier Aggregation . However, to achieve maximum performansi the LTE network may be hampered by problems of co -channel interference .

To achieve optimal network performance , perform the method of frequency reuse as interference management and enhanced features carrier frequency reuse scheme used is Fractional Frequency Reuse is dividing the cell into two regions, the cell edge and cell center using different transmit power . While the application of carrier aggregation scheme used is carrier aggregation 3 deployment scenario by using two frequency bands and pancara different patterns .

Parameters analyzed in the journal are RSRP , CINR , Connected user and Throughput . The simulation results showed that FFR implementation scenario occurs CA diverse effect on every parameter . An increase CINR , but the connected user throughput and decreased performance because there are unused bandwidth in each of its cells . But the application of FFR improve cell edge throughput when compared with no application of FFR which only produces high throughput at the cell center.

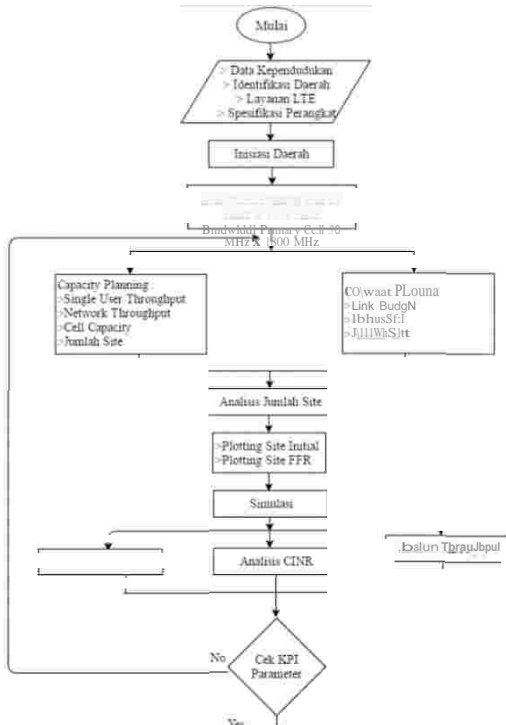
1. Pendahuluan

Penggunaan perangkat *user* pada era ini seperti *smartphone* dan perangkat akses Internet lainnya menawarkan pengalaman user yang meningkat dengan aplikasi-aplikasi *high-bandwidth-consumption* seperti

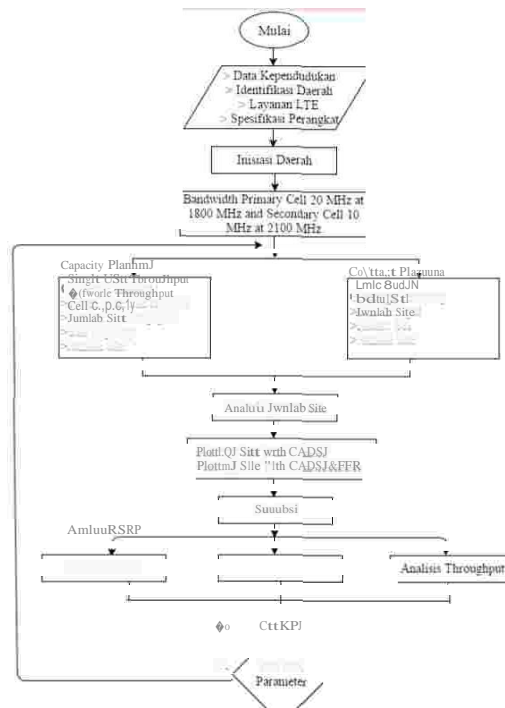
download data, interactive, video streaming dan mobile cloud menyebabkan trafik data meningkat. Namun ketersediaan bandwidth untuk teknologi LTE masih terbatas sehingga dibutuhkan suatu teknik untuk menambah kapasitas yaitu dengan metode *carrier aggregation*. Interferensi pada teknologi LTE tidak bisa dihindari, interferensi yang paling mendominasi adalah *co-channel interference*. Sehingga dibutuhkan teknik manajemen interferensi yaitu *frequency reuse*. Pada jurnal kali ini dibahas salah satu perkembangan *frequency reuse* yaitu *Fractional Frequency Reuse*.

2 Teori dan Tahap Perencanaan

Sebelum merancang jaringan LTE hal yang dilakukan adalah mengetahui kebutuhan jaringan pada daerah tinjauan. Kebutuhan tersebut antara lain traffic demand, kapasitas sel dan jumlah site. Setelah itu penerapan skema dapat dilakukan pada hasil perancangan dengan menyesuaikan hasil perancangan dengan CA dan tanpa CA.



Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Perancangan Tanpa CA



Gambar 3. 2 Alur Pengerjaan Perancangan Dengan CA

2.1 LTE Capacity Planning [7]

Capacity planning merupakan metode perancangan yang memperhitungkan kebutuhan *demand traffic* sejumlah pelanggan. Pada metode ini dibutuhkan data statistik kependudukan pada daerah tinjauan. Data ini dibutuhkan untuk mengestimasi jumlah user untuk beberapa tahun kedepan. Karakteristik *demand traffic* untuk setiap morfologi daerah berbeda-beda. Secara umum, langkah-langkah yang dalam melakukan *capacity planning* yaitu : *forecasting* pelanggan, *throughput* pelayanan, *single user throughput* dan kapasitas sel.

2.1.1 Forecasting Pelanggan

Forecasting dilakukan untuk mendapatkan estimasi jumlah user untuk beberapa tahun kedepan. Untuk menghitung forecasting pelanggan dapat menggunakan persamaan (1).

$$P_n = P_o (1 + GF)^n \tag{1}$$

Pn adalah jumlah penduduk pada tahun ke-n, Po merupakan jumlah tahun saat perencanaan dan GF adalah faktor peretumbuhan penduduk. Pada daerah tinjauan, terdapat market share untuk operator X yang menggunakan layanan LTE. Secara lebih jelas bisa dilihat pada persamaan berikut :

$$Total\ target\ user = Pn \times A \times B \times C \tag{2}$$

Dengan Pn=jumlah penduduk tahun ke-n ; A = presentase jumlah peduduk usia produktif ; B = presentase market share operator X ; C = presentase penetrasi user LTE operateor X

2.1.2 Throughput Layanan

Jaringan yang dirancang harus mampu memberikan throughput minimal untuk setiap layanan agar layanan yang disediakan mampu terakses oleh user. Perhitungan throughput/session diperoleh dari persamaan berikut :

$$Throughput/session = Bearer\ Rate \times PPP\ Session\ Time \times PPP\ Session\ Duty\ Ratio \times [1/(1-BLER)] \tag{3}$$

Dengan: Throughput/session = Throughput minimal yang harus disediakan jaringan(Kbit) ; Bearer Rate : data rate yang harus disediakan oleh service application layer (IP) (Kbps) ; PPP Session Rate : rata-rata durasi setiap layanan(s), PPP Session Duty Ratio=rasio data yang dikirimkan setiap sesi merupakan rata-rata durasi penggunaan layanan(s) ; BLER= Block error rate yang diizinkan per sesi.

2.1.3 Single User dan Network Throughput

Setiap user memiliki kebiasaan yang beragam dalam menggunakan layanan LTE. Throughput tiap user pada kondisi jam sibuk dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$SUT = \frac{\sum h(1+P)}{3600} \tag{4}$$

Dimana : SUT = Single User Throuhhput (kbps); BNSA=Inisiasi penggunaan layanan selama jam sibuk ; Penetration rate= penetrasi penggunaan layanan pada daerah tinjauan ; PAR(Peak to Average Ratio) = estimasi lonjakan trafik.

Kemudian untuk menentukan kebutuhan throughput keseluruhan pada daerah yang ditinjau (network throughput) dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$Network\ Throughput = Total\ Target\ User \times SUT \tag{5}$$

2.1.4 Kapasitas Sel

Kapasitas sel dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan berikut :

$$DL\ Cap.\ +\ CRC = (168-36-12) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000 \tag{6}$$

Dengan : CRC=24, Cb (Code Bits)=efisiensi modulasi, Cd (Code Rate) = channel coding rate, Nrb= jumlah resource block yang digunakan dan C = mode antenna MIMO.

2.1.5 Cell Dimensioning

Jumlah sel yang dibutuhkan untuk dapat menangani trafik berdasarkan perhitungan capacity planning dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Jumlah\ sel = \tag{7}$$

2.3 Coverage Planning [6]

Coverage planning mempertimbangkan gain dan loss dari spesifikasi perangkat. Model propagasi yang digunakan juga akan mempengaruhi hasil radius sel. Dalam coverage planning, yang peretama dilakukan adalah menghitung link budget yaitu untuk mengetahui nilai maximal allowed path loss (MAPL) antara transmitter dan receiver.

Tabel 2. 3 Perhitungan MAPL Berdasarkan Morfologi Area [6]

| | Dense Urban | | Urban | | Sub-Urban | | Units | |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-------|---------------------|
| | UL | DL | UL | DL | UL | DL | | |
| Transmitter | | | | | | | | |
| Tx Power | 23 | 46 | 23 | 46 | 23 | 46 | dBm | a |
| RB to distibuted power | 3 | 100 | 3 | 100 | 3 | 100 | | |
| Subcarrier Power (dBm) | 7.436975 | 15.208188 | 7.436975 | 15.20819 | 7.436975 | 15.20819 | dBm | |
| EIRP | 18.563025 | 130.79181 | 18.563025 | 130.7918 | 18.56303 | 130.7918 | dBm | d=a+b-c |
| Receiver | | | | | | | | |
| SINR | -4.19 | -5.37 | -4.19 | -5.37 | -2.33 | -4.94 | dB | e |
| Rx noise figure | 2.3 | 7 | 2.3 | 7 | 2.3 | 7 | dB | f |
| Thermal Noise | -132.24 | -132.24 | -132.24 | -132.24 | -132.24 | -132.24 | dB | g |
| Receiver Sensitivity | -118.57 | -99.81 | -118.57 | -99.81 | -116.71 | -99.38 | dBm | h=e+f-g+10log 15000 |
| Rx antenna gain | 17 | 0 | 17 | 0 | 17 | 0 | dBi | i |
| Tx Cable/Body Loss | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | dB | j |
| Interference margin | 0.89 | 2.72 | 0.89 | 2.72 | 1.46 | 3.13 | dB | k |
| Minimum signal reception | -134.18 | -96.09 | -134.18 | -96.09 | -131.75 | -95.25 | dBm | l = h - i + j + k |
| Path loss | | | | | | | | |
| Indoor Penetration Loss | 18 | 18 | 14 | 14 | 11 | 11 | dB | m |
| Shadow fading margin | 9.43 | 9.43 | 8.04 | 8.04 | 5.99 | 5.99 | dB | n |
| Maximum allowable path loss | 125.31303 | 199.45181 | 130.70303 | 204.8418 | 133.323 | 209.0518 | dB | o = d-l-m-n |

2.3.1 Propagation Model

Pada perancangan ini digunakan frekuensi primary cell untuk skenario tanpa CA dan dengan CA yaitu frekuensi 1800 MHz. Model propagasi yang paling mendekati dengan frekuensi tersebut adalah COST 231. Kemudian radius sel dapat diketahui dengan persamaan model propagasi COST 231 berikut :

$$L_p \text{ (dB)} = A + B \log_{10} (d) + C \tag{8}$$

Dimana : $A = 46.3 + 33.9 \log_{10} (f_c) - 13.28 \log_{10} (h_b) - a(h_m)$ (9)

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(hb) \tag{10}$$

$C = 0$: untuk *medium city* dan area suburban ; 3 : untuk area metropolitan

Pada model propagasi COST 231, terdapat parameter factor koreksi untuk area tertentu, yaitu parameter $a(hm)$. Untuk persamaan $a(hm)$ dapat dilihat sebagai berikut :

$$\text{Urban } a(hm) = 3.2 (\log(11.75hm))^2 - 4.97 \text{ db} \tag{11}$$

$$\text{Rural dan Suburban } = 1.1 \log(f) - 0.7 \text{ hm} - (1.58f - 0.8) \tag{12}$$

Keterangan :

L_p = *pathloss (dB)*; f = frekuensi transmisi (MHz) ; hb = tinggi antenna efektif eNode B (m) ; d = jarak (km)

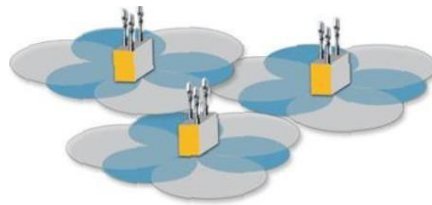
2.4 Sites Plotting

2.4.1 Carrier Aggregation Deployment Scenario 3

Pada simulasi *carrier aggregation deployment scenario 3*, terdapat *primary cell* dan *secondary cell*. Frekuensi 1800 MHz digunakan pada *primary cell* karena memiliki jangkauan *coverage* yang lebih besar. Namun pada skenario CADS 3 ini ada perbedaan nilai azimuth pada setiap antenna *primary cell* dan *secondary cell*. Secara lebih detail dijelaskan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. 4 Pengaturan Azimuth Primary Cell dan Secondary Cell

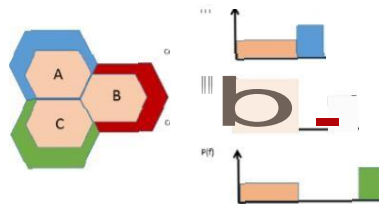
| Primary Cell Frekuensi 1800 MHz | Secondary Cell Frekuensi 2100 MHz |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 0° | 60° |
| 120° | 180° |
| 240° | 300° |



Gambar 2.4 Carrier Aggregation Deployment Scenario

Plotting site untuk skema CADS3, menggunakan jumlah site berdasarkan perhitungan *capacity planning* dengan kapasitas sel yang sudah diagregasi antara *primary cell* dan *secondary cell*.

2.4.2 Skema FFR



Gambar 2.5 Alokasi Frekuensi Skema FFR

Pada skema FFR, satu sel dibagi menjadi dua daerah yaitu *cell centre* dan *cell edge*. Untuk skenario kali ini digunakan 5 MHz pada *cell center* dan 5 MHz pada *cell edge* dengan menggunakan frekuensi 1800 MHz. Sedangkan pada frekuensi 2100 MHz, alokasi bandwidth 4 MHz pada *cell center* dan 2 MHz pada *cell edge*.

Plotting site untuk skema FFR menggunakan jumlah site dari hasil perhitungan *coverage planning* dan *capacity planning* dengan mengambil jumlah site maksimum. Namun *capacity planning* yang digunakan pada skema ini hanya menggunakan *primary cell* saja.

3. Hasil Perancangan

Capacity planning tanpa metode *carrier aggregation* menghasilkan jumlah site yang lebih banyak karena hanya menggunakan *bandwidth primary cell* sebesar 20 MHz pada frekuensi 1800 MHz. Sedangkan untuk perhitungan menggunakan metode *carrier aggregation*, kapasitas sel bertambah karena terdapat penambahan *bandwidth secondary component carrier* 10 MHz pada band frekuensi 2100 MHz.

Tabel 3. 1 Jumlah Site Dengan *Capacity Planning*

| | Tanpa CA | | | Dengan CA | | |
|----------------------|-------------|-------|-----------|-------------|-------|-----------|
| Kapasitas sel (Mbps) | 50.017 | | | 66.29112 | | |
| | Dense Urban | Urban | Sub Urban | Dense Urban | Urban | Sub Urban |
| Jumlah site | 216 | 148 | 23 | 84 | 62 | 6 |
| Total Site | 387 | | | 152 | | |

Perhitungan jumlah sel untuk skema tanpa *carrier aggregation* dan dengan *carrier aggregation* akan mendapatkan jumlah yang sama karena kedua skema tersebut menggunakan parameter dari spesifikasi perangkat yang sama dan dengan rumus model propagasi yang sama. Pengaruh frekuensi 2100 MHz sebagai *secondary cell* tidak berpengaruh pada perhitungan *coverage planning* karena hanya menggunakan frekuensi 1800 MHz sebagai *primary cell*. Total jumlah site berdasarkan *coverage planning* adalah 271 site.

Tabel 3. 2 Jumlah Site dengan *Coverage Planning*

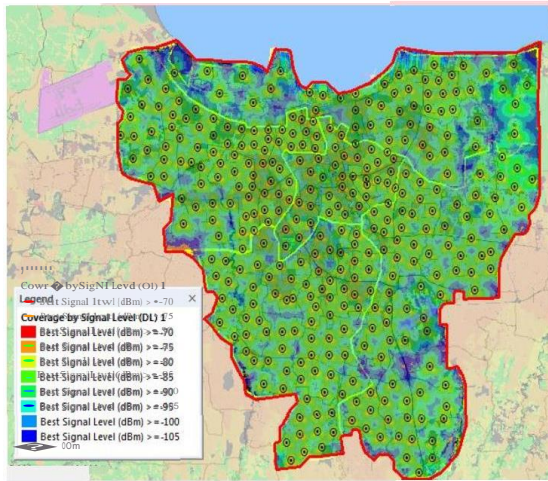
| | Dense Urban | Urban | Sub Urban |
|-----------------------------|-------------|----------|-----------|
| Frekuensi (MHz) | 1800 | | |
| Model Propagasi | COST 231 | | |
| MAPL (dB) | 144.30909 | 149.6990 | 153.3191 |
| Radius (km) | 0.9 | 0.95 | 1.5 |
| Luas Sel (km ²) | 5.274828 | 5.589675 | 16.4268 |
| Jumlah Site | 107 | 127 | 37 |

3.1 Hasil Simulasi

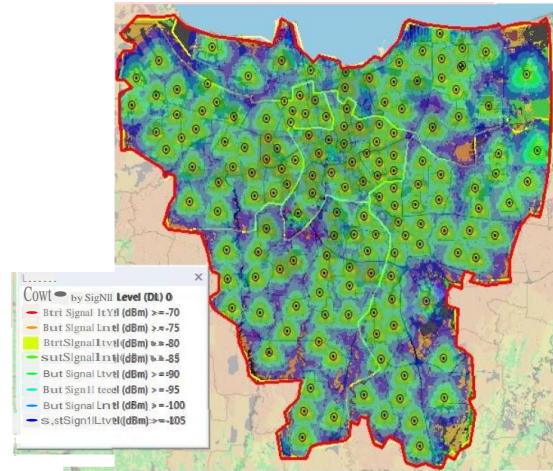
3.1.1 RSRP Coverage Prediction

RSRP dipengaruhi oleh lebar bandwidth yang gunakan. Karena pada skenario tanpa penerapan CA hanya menggunakan bandwidth primary cell sebesar 20 MHz akan menghasilkan RSRP yang rendah. Sedangkan untuk skenario penerapan CA menghasilkan RSRP yang lebih besar karena terdapat penambahan bandwidth pada jaringan.

Selisih perbedaan rata-rata RSRP pada masing-masing skenario tidak terlalu signifikan. Nilai RSRP rata-rata yang terbesar dicapai oleh skenario penerapan CA. Walaupun rata-rata nilai RSRP pada skenario dengan penerapan CA terbesar, namun nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan rata-rata skenario tanpa CA. Rata-rata RSRP antara skenario tanpa CA dan dengan CA hanya terpaut 3 dB.



Gambar 3. 1 RSRP Coverage Prediction dengan skema Initial dan FFR

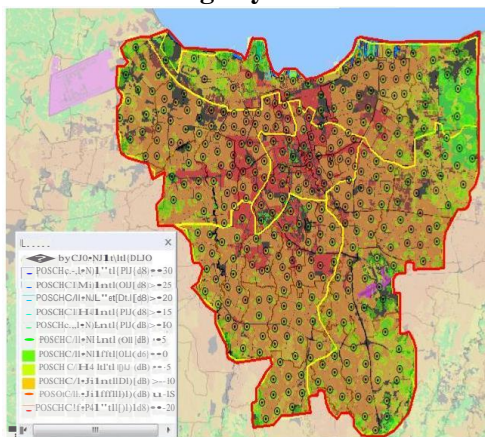


Gambar 3. 1 RSRP Coverage Prediction dengan skema CADS3 dan CADS3&FFR

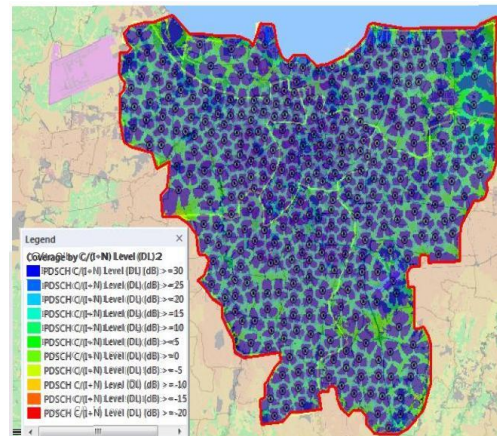
Tabel 4. 3 Rata-rata Distribusi RSRP

| | Initial | FFR | CADS3 | CADS3 & FFR |
|-----------|---------|--------|--------|-------------|
| RSRP(dBm) | -72.04 | -72.06 | -73.46 | -73.46 |

3.1.2 Analisis Coverage by CINR



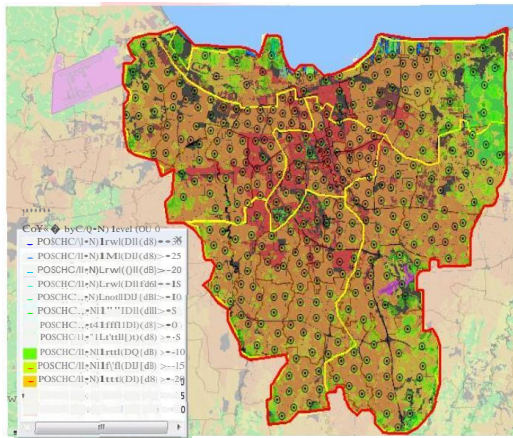
Gambar 3. 3 CINR Coverage Prediction dengan skema Initial



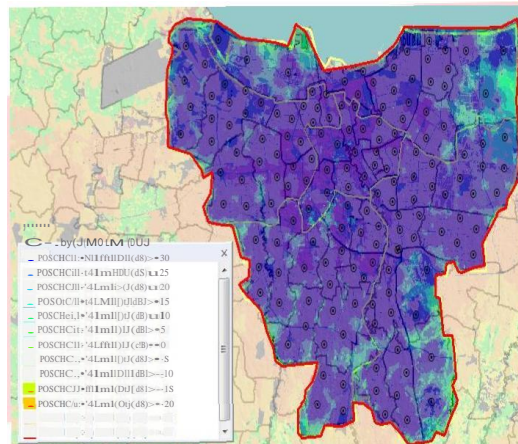
Gambar 3. 4 CINR Coverage Prediction dengan skema FFR

Carrier to Interference Noise Ratio (CINR) merupakan perbandingan antara daya sinyal carrier terhadap penginterferensi dan noise. Namun, karena noise tidak berpengaruh banyak dibandingkan interferensi maka nilai noise dapat diabaikan. Interferensi yang berpengaruh pada simulasi tugas akhir ini adalah interferensi *co-channel* yang disebabkan oleh sel lain yang memiliki *physical cell identity* (PCI) sama. Buruknya nilai CINR akan

memengaruhi kualitas layanan yang diberikan, bahkan buruknya nilai CINR akan menyebabkan pengguna tidak mendapatkan layanan yang diinginkan



Gambar 3. 3 CINR Coverage Prediction dengan skema CADS3



Gambar 3. 4 CINR Coverage Prediction dengan skema CADS3&FFR

Pada skema plotting site dapat dilihat bahwa persebaran CINR tidak mencapai tepi sel. Hal ini diakibatkan karena pada skema initial masih terdapat co-channel interference yaitu interferensi yang terjadi karena penggunaan kanal yang sama pada sel bertetangga yang terlalu dekat.

Untuk persebaran CINR dengan plotting site menggunakan FFR menghasilkan luas yang lebih besar dengan rata-rata CINR mencapai 30dB untuk semua cakupan area. Hal ini disebabkan karena FFR adalah salah satu perkembangan dari frequency reuse conventional yang bertujuan untuk meminimalkan co-channel interference sehingga nilai CINR untuk cell centre dan cell edge dapat meningkat.

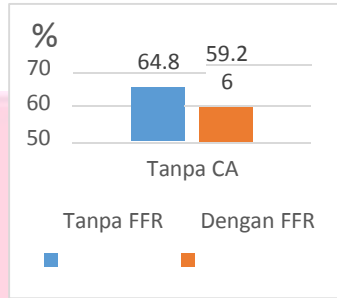
Tabel 4. 4 Rata-rata Distribusi CINR

| | Initial | FFR | CADS3 | CADS3 & FFR |
|-----------|---------|-----|-------|-------------|
| CINR (dB) | 2.97 | 21 | 2.03 | 36.67 |

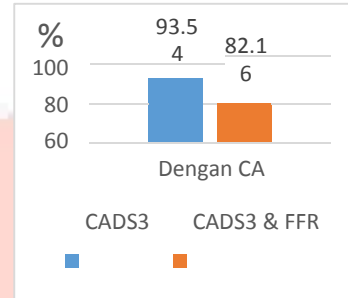
Dari tabel diatas menunjukkan bahwa penereapan FFR pada jaringan akan meningkatkan nilai CINR secara signifikan karna FFR merupakan teknik manajemen interferensi yang mengalokasikan daya untuk cell edge dan cell center sehingga perbaikan sinyal untuk cell edge akan bertambah. Sedangkan untuk CADS3, peletakan secondary cell pada sel tepi primary cell akan mengcover daerah yang tidak dicover oleh primary cell. Nilai CINR yang baik sampai ke cell edge menunjukkan bahwa dengan penerapan FFR terjadi peningkatan cell edge throughput karena semakin baik nilai CINR maka user mampu mengakses layanan walaupun berada pada cell edge.

3.2 Hasil Simulasi Trafik

3.2.1 Hasil Simulasi *Connected User*



Gambar 4. 1 Grafik *Connected User* Tanpa CA



Gambar 4. 2 Grafik *Connected User* Dengan CA

Nilai rata-rata presentase *connected user* untuk skema tanpa CA menunjukkan presentase yang kecil karena kapasitas tanpa CA hanya menggunakan kapasitas primary cell. Untuk skema tanpa FFR menunjukkan presentase user *connected* sebesar 64.8 % namun saat ditambahkan metode FFR terjadi penurunan *connected user*. Sedangkan untuk skema dengan CA, menunjukkan presentase *connected user* sebesar 93.54 %, namun saat ditambahkan metode FFR juga terjadi penurunan *connected user* yaitu sebesar 82.16%.

3.2.2 Hasil Simulasi Throughput

Setelah melakukan simulasi trafik, didapatkan nilai throughput yang menunjukkan user throughput yaitu throughput yang bisa didapatkan oleh setiap user pada daerah tinjauan. User throughput yang dimaksud adalah *application throughput* yang merupakan *throughput* akhir yang dapat dirasakan oleh user tanpa memperdulikan *coding* (redundansi, *overhead*, *addressing* dll). Nilai ini dihitung dari throughput *Radio Link Connection* (RLC) efektif, *throughput* skala faktor layanan dan *throughput offset*.

Simulasi throughput dilakukan pada setiap skema plotting site. Penambahan FFR untuk setiap skenario mengalami penurunan throughput. Secara lebih lengkap, hasil throughput untuk setiap skema dapat dilihat pada grafik berikut :

Tabel 3. 2 Grafik *User Application Throughput*

| | Tanpa CA | | Dengan CA | |
|-------------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| | Tanpa FFR | Dengan FFR | CADS3 | CADS3 & FFR |
| CINR (dB) | 2.97 | 21 | 2.03 | 36.67 |
| Throughput (Mbps) | 53.75 | 49.31 | 139.4 | 93.4 |

4. Kesimpulan

1. Jumlah site yang dibutuhkan untuk perancangan tanpa CA adalah sebanyak 413 site. Sedangkan untuk perancangan dengan penerapan CA dibutuhkan 217 site.
2. Nilai RSRP untuk setiap skema simulasi tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Untuk skema tanpa FFR dan dengan FFR menghasilkan nilai yang sama RSRP -72.04 dBm. Dan nilai RSRP untuk skema penerapan CADS3 dan CADS3 & FFR juga menghasilkan besar yang sama yaitu -73.46 dBm
3. Nilai rata-rata CINR paling baik adalah skema FFR karena FFR merupakan teknik manajemen interferensi yang akan meminimalkan co-channel interference. Rata-rata nilai CINR untuk FFR adalah 21 dB. Untuk skema CADS 3 adalah 2.03 dB. Dan untuk skema CADS3&FFR menghasilkan output CINR sebesar 36.67 dB. Nilai CINR untuk skenario yang memenuhi KPI CINR > 6 dB adalah skenario dengan menggunakan skema FFR.
4. Penambahan kapasitas dengan metode CA mengakibatkan *user connected* dan *throughput* untuk skema CADS 3 meningkat yaitu menghasilkan *user connected* 93.54% dan *throughput* 139.4 Mbps. Kemudian skema CADS3 yang ditambah penerapan FFR terjadi penurunan *user connected* mencapai 82.16% dan penurunan *throughput* sebesar 93.4 Mbps. Penurunan *connected user* dan *throughput* dengan penambahan

skema FFR terjadi karena pada skema FFR seluruh lebar *bandwidth* yang tersedia tidak digunakan secara keseluruhan karena terdapat pembagian *bandwidth* untuk *cell edge* dan *cell centre*. Besarnya *throughput* untuk skenario tanpa FFR hanya terjadi pada *cell centre*, sedangkan *throughput* yang tinggi terjadi untuk *cell centre* dan *cell edge* dengan penambahan metode FFR.

5. Daftar Pustaka

- [1] Stafania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, LTE The UMTS Long Term Evolution "From Theory to Practice", Cichester: Wiley, 2011.
- [2] Ayman ElNashar, Mohamed A. El Saidny, Mahmoud Sherif, Design, Deployment and Performance of 4G LTE Network, Cichester: Wiley, 2014.
- [3] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skhold, LTE / LTE Advanced for Mobile Broadband, Burlington: Elsavier, 2011.
- [4] X. Fangmin, "Fractional Frequency Reuse (FFR) And FFR Based Scheduling in OFDMA System," *IEEE*, 2010.
- [5] Fujitsu, "Enhancing LTE Cell-edge Performance via PDCCH ICIC," Fujitsu Network Communication, Inc, 2011.
- [6] 4. Americas, "LTE Carrier Aggregation Technology Development and Development Worldwide," 4G Americas, 2014.
- [7] Mohammed Abduljawad M. Al Shibby, Mohamed Hadi Habaebi and Jalel Chibil, "Carrier Aggregation In Long Term Evolution-Advanced," *IEEE*, pp. 154-159, 2012.
- [8] "LTE Radio Network Capacity Planning," Technologies, Huawei, 2010.
- [9] "LTE Radio Network Coverage Planning," Huawei Technologies, 2010.
- [10] "http://jakarta.bps.go.id/backend/pdf_publicasi/Statistik-Daerah-Provinsi-DKI-Jakarta-2015.pdf," [Online]. [Accessed April 2016].
- [11] Badan Pusat Statistik Provinsi DKI, "Statistik Daerah Provinsi DKI Jakarta," Bidang Neraca Wilayah dan Analisis - BPS Provinsi DKI Jakarta, Jakarta, 2014.
- [12] "<http://selular.id/news/telco/2015/02/kebijakan-refarming-frekuensi-1800-mhz-sudah-diteken-rudiantara/>," [Online].
- [13] "<https://adeadnani.wordpress.com/2014/05/15/penggunaan-alokasi-pita-frekuensi-di-indonesia/>," [Online].
- [14] Telkomsel, "LTE KPI'S and Acceptance," Telkomsel, 2012.
- [15] Z. Xie, "Resource Allocation and Reuse Inter-Cell Interference Mitigation in OFDMA-based Communication Network," *Dissertation*, p. 14, 2011.
- [16] Giovani Geambene, Van Anh Le, "Performance Evaluation of Different Fractional Frequency Reuse Schemes for LTE," *IEEE*, 2012.

