

## Analisis Perancangan *Fractional Frequency Reuse* Pada Jaringan *Long Term Evolution* Di Kota Pekanbaru

Makmul Siddiq Harahap\*, Yusnita Rahayu\*\*

\*Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Email: makmulsiddiq@gmail.com

### ABSTRACT

*Long Term Evolution - Advanced (LTE-A) is a 4G wireless broadband technology based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). It provides improved system capacity and coverage, high peak data rate and low latency. OFDM technology is used to reduce the Intersymbol Interference (ISI), however it increases the effect of Intercell Interference (ICI) due to single frequency used. The high ICI will give affect to the performace of users at the cell edge and cell centre. To avoid the ICI, the ICI management is required. In this paper, the ICI management is described. There are three schemes are analyzed such as Frequency Reuse 1 (FR1), Fractional Frequency Reuse (FFR), Soft Frequency Reuse (SFR). From the simulation results, the best results are provided by SFR. It gives CINR of 21,14 dB, and 40.547,67 kbps of throughput*

*Keywords : LTE, SFR, FFR, Reuse 1, throughput, CINR*

### I. PENDAHULUAN

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi yang mendukung layanan data dengan kecepatan tinggi. LTE dianggap sebagai kandidat utama jaringan selular 4G, merupakan teknologi alternatif untuk memenuhi meningkatnya tuntutan bagi layanan broadband dan mobilitas yang tinggi. Teknologi ini diklaim dirancang untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik, peningkatan kapasitas radio, latency, dan biaya operasional yang rendah bagi operator serta layanan mobile broadband kualitas tinggi untuk para pengguna. Hal itu dimungkinkan karena adanya teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

Pada LTE, teknologi OFDMA untuk digunakan mengurangi *intersymbol interference* (ICI), akan tetapi dengan diterapkannya teknologi OFDMA yang memakai frekuensi tunggal menyebabkan peningkatan efek Intercell Interference (ICI) yang menyebabkan nilai interferensi tetap saja tinggi. Hal tersebut sangat mempengaruhi

performansi pengguna di sisi pinggir sel (cell edge) pada khususnya dan kapasitas sel pada umumnya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknik untuk mengurangi ICI, yaitu dengan manajemen interferensi untuk mengurangi efek interferensi Teknik kompresi citra digital terbagi menjadi dua yaitu *Lossless Compression* dan *Lossy Commpression*. *Lossless Compression* merupakan teknik kompresi yang tanpa menghilangkan data informasinya, sedangkan *Lossy Compression* merupakan teknik kompresi yang data informasinya ada yang hilang tapi masih dalam tahap toleransi.

Frans Risky J.P. dkk , 2015, *Analisis Perancangan Jaringan Long Term Evolution (Lte) Di Wilayah Kota Banda Aceh Dengan Fractional Frequency Reuse Sebagai Manajemen Interferensi* didapatkan hasil analisis berupa kebutuhan *throughput* untuk wilayah kota Banda Aceh sebesar 402,567 Mbps, dengan estimasi jumlah pelanggan LTE sebanyak 11.857 *User*. Kebutuhan jumlah sel untuk memberikan pelayanan optimal di Kota

Banda Aceh adalah sebanyak 10 sel dengan radius sel masing-masing untuk daerah *Dense Urban* (0.4Km), daerah *Urban* (0.61 Km) dan daerah *Sub Urban* sebesar (1.16 Km). Dari hasil simulasi juga terlihat performansi LTE dengan *fractional frequency reuse* (FFR) lebih baik daripada teknik manajemen interferensi lain dalam mengatasi *noise* dan *interference* dimana nilai simulasi LTE FFR sebesar -63.18 dBm sedangkan LTE biasa sebesar -59.01 dBm yang berarti nilai *noise* dan *interference* LTE FFR lebih kecil.

Hung-Bin Chang, and Izhak Rubin, 2015, *Optimal Downlink and Uplink Fractional Frequency Reuse in Cellular Wireless Networks* menyatakan bahwa jaringan nirkabel seluler yang dipancarkan secara penuh menggunakan teknologi sel kecil secara luas. Dalam tulisan ini, untuk mengurangi dampak antar-sel dan gangguan sinyal intra-sel yang disebabkan oleh pengoperasian jaringan ini digunakan penjadwalan adaptif-rate untuk node transmisi, baik pada *base station* (BS) atau pengguna mobile. Yang bertujuan untuk memaksimalkan sistem, melalui skema kerja *Fractional Frequency Reuse* (FFR). Setiap BS bekerja baik dengan sistem antena omnidirectional ataupun directional. Dengan mengkonfigurasi skema FFR dan mengevaluasi kinerja sistem secara mutlak dan proporsional. Untuk memaksimalkan throughput pada ponsel, dimana menentukan metode terbaik untuk menggunakan klasifikasi pengguna sel ke bagian dalam dan tepi pada ponsel. Tingkat bandwidth yang dialokasikan untuk melayani bagian dalam dan tepi ponsel dapat dioptimalkan. Ekspresi matematika closed-form digunakan untuk menghitung distribusi probabilitas tingkat interferensi sinyal yang diukur pada penerima. Dengan memperhitungkan dampak dari proses klasifikasi tingkat daya interferensi antar sel. Secara mutlak, menunjukkan bahwa jika skema FFR dikonfigurasi secara optimal sistem mengalami banyak peningkatan kinerja. Jika skema *directional*-FFR dikonfigurasi secara optimal dapat meningkatkan kapasitas

throughput dengan faktor sekitar 60% dibandingkan dengan yang diperoleh dengan menggunakan skema omnidirectional-FFR optimal. Kinerja dicapai dengan menggunakan sel kecil pada sistem jaringan nirkabel seluler ketika menggunakan konfigurasi yang tepat.

Sani Umar Abdullahi, Jian Liu, Ci Huang and Xiaonan Zhang, 2016, *Enhancing Throughput Performance in LTE-Advanced Hetnets with Buffered Fractional Frequency Reuse* menyatakan bahwa reuse dianggap sebagai teknik yang menarik untuk *inter-cell interference coordination* (ICIC) pada *Heterogeneous Cellular Systems* (Hetnets) karena kompleksitas yang rendah dan minim sinyal overhead. Paper ini mengusulkan skema *Fractional Frequency Reuse* (FFR). Lebih lanjut yang dapat meningkatkan alokasi sumber daya untuk pengguna makro (MUEs) yang mana berada lebih jauh dari layanan base station makro (MeNB). Sebuah wilayah perantara yang baru memungkinkan sumber daya frekuensi untuk digunakan kembali di tepi dan daerah baru secara cerdas dan juga melindungi pengguna batas dari gangguan *cross-tier* yang parah, dengan demikian dapat meningkatkan SINR per-user. Hasil simulasi menunjukkan kenaikan di MUE throughput dan keseluruhan jaringan sum-rate secara signifikan lebih tinggi dalam skema yang diusulkan.

Zhiqiang Qi, Tao Peng, Libin Liu, Pengbo Zhu, Wenbo Wang, 2016, *Analytical Evaluation of Throughput and Power Efficiency using Fractional Frequency Reuse*. *Inter-cell Interference* (ICI) selalu menjadi masalah utama dalam sistem yang akan difokuskan pada *Fractional Frequency Reuse* (FFR), dimana harus diselesaikan dengan baik untuk mengejar throughput yang lebih tinggi dan efisiensi daya yang lebih baik. Dalam paper ini, penyelidikan terhadap throughput dan penjadwalan efisiensi daya di sistem FFR menggunakan ekspresi closed-form dan metode percobaan Monte Carlo. Dapat meningkatkan model throughput yang

sebelumnya, dengan menerapkan skema distribusi variabel subcarrier dan meningkatkan ekspresi untuk Fungsi Distribusi kumulatif (CDF) dari SINR. Kemudian diusulkan ekspresi *closed-form* bentuk baru pada throughput rata-rata sel. Kinerja mutlak dari model ini lebih baik dibanding menggunakan skema distribusi subcarrier tetap. Sementara itu, ambang radius optimal dipilih sehingga mencapai kinerja throughput terbaik. Kemudian berhasil mengeksplorasi hubungan antara efisiensi daya sel dan daya pancar berdasarkan ambang radius optimal. Dari kedua analisis dan simulasi hasil, terlihat bahwa efisiensi daya monoton menurun dengan daya pancar. Oleh karena itu kekuatan operasional dihubungkan ke efisiensi daya konsumsi energi untuk base station. Setelah itu, efisiensi daya tertinggi dapat dicapai dengan menetapkan daya pancar yang tepat dan masuk akal.

### III. LANDASAN TEORI

#### 2.1 Manajemen Interferensi

Dalam jaringan selular, skema alokasi daya dan frekuensi yang berbeda diterapkan untuk mengurangi dampak ICI sehingga efisiensi spektral sistem dapat ditingkatkan. Dalam banyak skema mitigasi ICI, teknik penggunaan kembali frekuensi diambil sebagai ide utama. algoritma perencanaan frekuensi reuse ini bertujuan untuk meningkatkan SINR, dan harus memenuhi kendala dayapada setiap sel dengan memastikan bahwa daya pancar dari ENB tidak melebihi batas maksimal yang diijinkan. Berdasarkan skala waktu, skema pengurangan ICI dapat dikategorikan sebagai skema statis, semi-statis dan dinamis. skema alokasi statis dapat beroperasi pada skala waktu relatif besar (N. Saquib, E. Hossain, and D. Kim, 2013).

Dalam skema statis, alokasi sumber daya untuk setiap sel ditentukan selama perencanaan jaringan dan penyesuaian jangka panjang yang dibuat selama operasi. Oleh karena itu, tingkat daya dan pengaturan sub-operator ditugaskan untuk setiap sel dan daerah

sel adalah statis (tetap). Dalam pendekatan semi-statis, bagian dari alokasi Resource Block (RB) yang telah ditetapkan dan alokasi RB lainnya disediakan untuk pengguna sel tepi berubah secara dinamis. Skala waktu untuk pengalokasiannya dalam satuan detik atau milidetik. Dalam skema dinamis, alokasi sumber daya diperbarui secara dinamis berdasarkan variasi kondisi jaringan. Alokasi Dinamis dilakukan setelah jangka waktu yang sangat singkat (A. Daeinabi,2012).

#### 2.1.1 Skema Statis

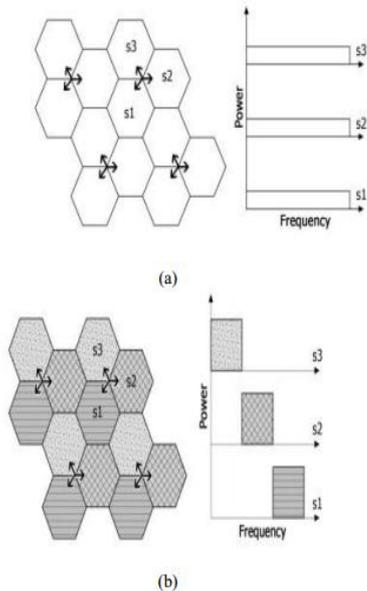
Terlepas dari perbedaan antara skema reuse frekuensi yang berbeda, semua skema perlu menentukan set sub-Carriers yang dialokasikan untuk setiap sel / sektor, dimana tingkat daya setiap channel beroperasi dan daerah sel (yaitu pusat sel atau tepi sel) dimana set sub-carrier (saluran) digunakan. Berbagai skema frekuensi reuse memiliki nilai yang berbeda untuk parameter ini.

##### 1. *Frequency Reuse* Konvensional

Skema frekuensi reuse yang paling sederhana adalah dengan memanfaatkan faktor *reuse frequency 1* (RF1). Dalam RF1, total bandwidth yang tersedia digunakan kembali dalam setiap sel tanpa memperdulikan kendala pada alokasi daya atau penggunaan sumber daya frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar. (a). Dengan skema ini, kapasitas sistem yang tinggi seperti puncak tertinggi data rate dapat dicapai. Namun, gangguan antar sel, terutama pada tepi sel, meningkat yang dimana sangat membatasi kinerja pengguna tepi sel. Dengan demikian, efisiensi spektral keseluruhan mengalami degradasi.

Dalam reuse factor tiga (RF3), total bandwidth dibagi menjadi 3, equal, orthogonal subband, dan sub-band yang dialokasikan untuk sel sedemikian rupa dimana sel-sel yang berdekatan saling menyebarkan frekuensi yang berbeda (ditunjukkan pada Gambar.(b)). Skema ini bertujuan untuk menurunkan gangguan antar sel. Namun, karena setiap sel

menggunakan sepertiga dari total bandwidth yang tersedia, terdapat kerugian kapasitas yang besar



**Gambar 1.** Conventional Frequency Reuse (a) Frequency Reuse factor 1 (b) Frequency reuse Factor 3

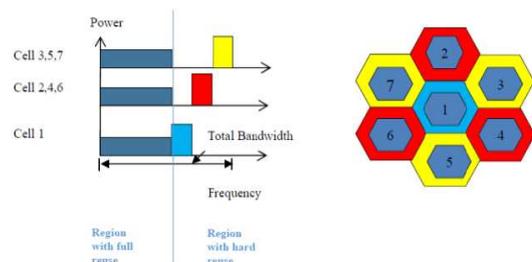
## 2. Fractional Frequency Reuse (FFR)

Skema reuse frekuensi pecahan diusulkan untuk mengatasi kekurangan dari skema frekuensi reuse konvensional. Dalam skema berbasis FFR, pengguna dengan kualitas sinyal kuat menggunakan skema faktor reuse lebih rendah (seperti RF1) dan pengguna memiliki SINR lebih rendah menggunakan skema reuse faktor lebih tinggi (seperti RF3).

### a. Partial Frequency Reuse (PFR)

Penggunaan kembali frequency reuse factor (FRF) yang sama di seluruh sel sangat tidak efisien terhadap bandwidth. Solusi untuk meningkatkan SINR pengguna tepi sel dengan tetap mempertahankan efisiensi spektral yang baik adalah dengan menggunakan faktor reuse lebih besar dari satu untuk daerah tepi sel dan RF1 untuk daerah pusat sel. Konsep dasar dari PFR adalah untuk menempatkan pembatasan pada sebagian dari sumber daya sehingga beberapa sumber daya tidak dimanfaatkan oleh

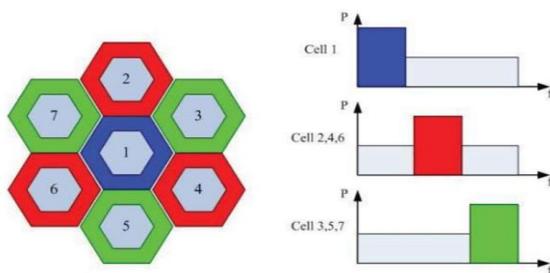
beberapa kelas pengguna sama sekali. Dalam skema PFR (total bandwidth yang tersedia dibagi menjadi empat sub-band. Pusat sel UE dialokasikan pada pita frekuensi dengan faktor reuse 1. UE tepi sel dialokasikan pada pita frekuensi yang saling melengkapi dengan faktor reuse 3. Skema ini juga dikenal sebagai FFR-FI (FFR dengan isolasi penuh) dimana pengguna ujung sel benar-benar terisolasi. PFR tidak menggunakan bandwidth yang tersedia secara keseluruhan, itu mengarah ke sel throughput rendah dibandingkan dengan skema RF1.



**Gambar 2.** Perencanaan frekuensi dan alokasi daya pada skema PFR

### b. Soft Frequency Reuse (SFR)

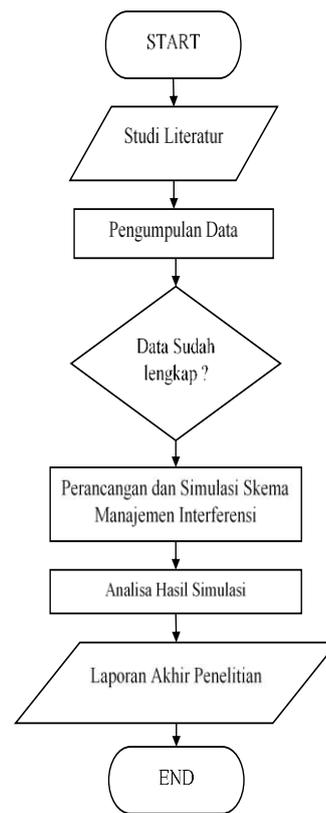
Satu kekurangan dari skema PFR adalah pemanfaatan sumber daya frekuensi yang tersedia dibatasi pembagiannya. Skema Soft frequency reuse yang diusulkan, bertujuan untuk menghindari gangguan antar-sel yang tinggi terkait dengan konfigurasi faktor reuse 1 dan lebih fleksibel dibanding skema PFR. Dalam SFR (ditunjukkan pada Gambar. 2.3), masing-masing sel menggunakan total bandwidth yang tersedia. Untuk masing-masing sektor, pengguna tepi sel dialokasikan dalam fraksi bandwidth dengan tingkat daya tertinggi dan pengguna pusat sel dialokasikan dengan daya lebih rendah dari seluruh pita frekuensi. RF1 digunakan di wilayah pusat sel dan FRF yang lebih besar dari satu digunakan di daerah tepi sel.



**Gambar 3.** Perencanaan frekuensi dan alokasi daya pada skema SFR

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada gambar 3.1 dijelaskan tentang bagaimana proses perancangan skema *Fractional Frequency Reuse*. Proses dimulai dari studi literatur, berupa mempelajari bahan-bahan pelajaran tentang skema *Fractional Frequency Reuse* dan Atoll. Berikutnya adalah menentukan parameter – parameter yang akan digunakan pada simulasi. Setelah itu hasil dari perancangan skema *Fractional Frequency Reuse* disimulasikan dan dianalisa apakah hasilnya sudah sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai dengan ketentuan. Berikut adalah diagram alir penelitian dari perancangan skema *Fractional Frequency Reuse*.



**Gambar 4.** Diagram Alir Penelitian

#### 3.1 Resources Allocation

Pada penelitian ini, akan digunakan tiga skenario perancangan jaringan dengan menggunakan tiga skema *frequency reuse*. Skema *frequency reuse* yang digunakan adalah *Frequency Reuse 1*, *Fractional Frequency Reuse* dan *Soft Frequency Reuse*. Bandwidth yang digunakan untuk perancangan jaringan ini sebesar 20 MHz. Probabilitas cakupan *cell edge* terhadap *cell centre* yang digunakan adalah 75%.

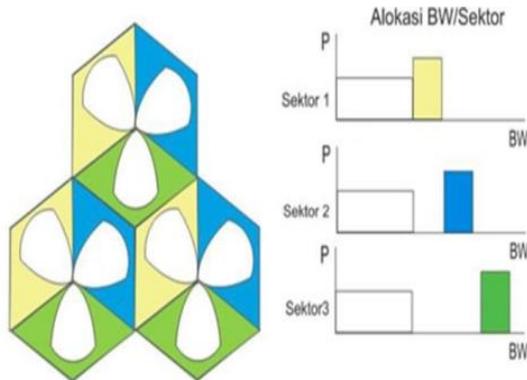
##### 1. *Frequency Reuse 1*

Pada *frequency reuse 1* digunakan seluruh bandwidth, yaitu sebesar 20 MHz untuk seluruh sel. Setiap sel

menggunakan frekuensi yang sama. Alokasi daya yang digunakan pada seluruh cakupan sel juga sama.

### 2. Fractional Frequency Reuse

Pada skema ini, satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sektornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Cakupan yang dekat dengan antenna pemancar disebut dengan *cell centre*, sedangkan daerah yang berada pada pinggiran sel, di sebut *cell edge*.



**Gambar 5.** Alokasi Power dan Frekuensi pada FFR

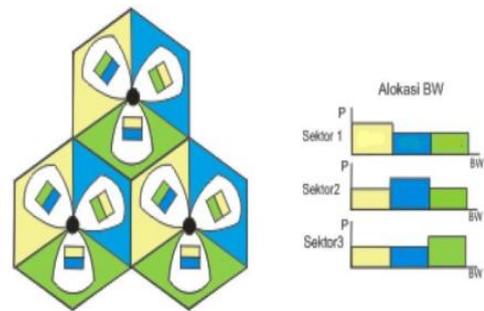
Untuk *cell centre* digunakan frekuensi sebesar 5 MHz dengan frekuensi yang sama pada setiap sektor, sedangkan untuk 3 *cell edge* lainnya, digunakan frekuensi masing-masing sebesar 5 MHz dengan frekuensi yang saling berbeda. Untuk daya *cell edge* juga lebih besar daripada daya yang berada di *cell centre*.

**Tabel 1.** Alokasi power dan frekuensi pada FFR

Sektor	Area	Power Boost	BW Channel	Frekuensi
1,2,3	Cell edge	1,2 dB	10	1805-1815 MHz
1	Cell centre		10	1815-1825 MHz
2			10	1825-1835 MHz
3			10	1835-1840 MHz

### 3. Soft Frequency Reuse

Sama halnya dengan skema fractional frequency reuse, pada skema ini, satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sektornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Cakupan yang dekat dengan antenna pemancar disebut dengan *cell centre*, sedangkan daerah yang berada pada pinggiran sel, di sebut *cell edge*. Skema pembagian sel dan bandwidth dapat dilihat pada gambar



**Gambar 6.** Alokasi Power dan Frekuensi pada SFR

Pada pada skema ini, untuk *cell centre* digunakan frekuensi sebesar 15 MHz yang berbeda di masing-masing sektornya secara bergantian. Sedangkan pada *cell edge* digunakan frekuensi sebesar 5 MHz yang berbeda-beda setiap sektornya secara bergantian. Di skema ini seluruh frekuensi yang tersedia dipakai seluruhnya.

**Tabel 2.** Alokasi power dan frekuensi pada SFR

Sektor	Area	Power Boost	BW Channel	Frekuensi
1	Cell centre	0 dB	15	1810-1825 MHz
2			15	1815-1830 MHz
3			15	1820-1835 MHz
1			Cell edge	1,2 dB

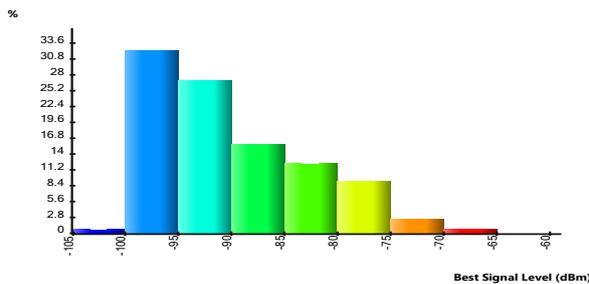
			MHz
2		5	1810-1815 MHz
3		5	1815-1820 MHz

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut

##### 4.1 Analisa Simulasi Cakupan Sinyal

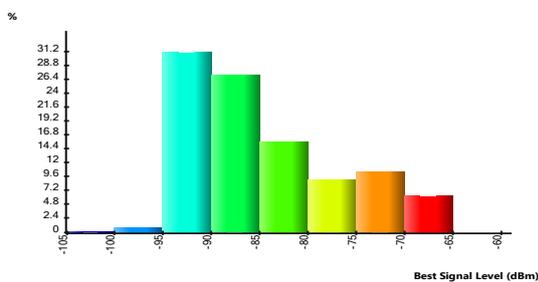
###### 1. Frequency Reuse 1



**Gambar 7.** Histogram nilai Cakupan sinyal skenario FR1

Pada Gambar 7. merupakan Histogram nilai Cakupan sinyal skenario FR1 dengan nilai rata – ratanya adalah -79,12 dBm

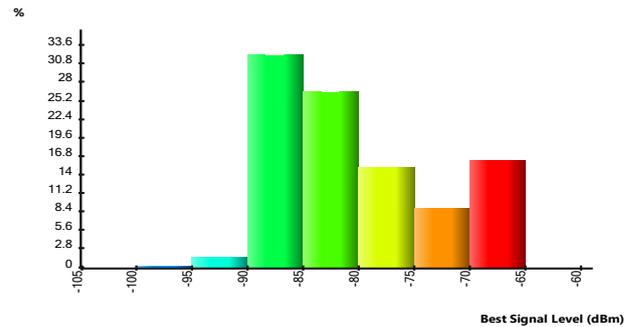
###### 2. Fractional Frequency Reuse



**Gambar 8.** Histogram nilai Cakupan sinyal skenario FFR

Pada Gambar 8. merupakan Histogram nilai Cakupan sinyal skenario FFR dengan nilai rata – ratanya adalah -72,4 dBm

###### 3. Soft Frequency Reuse

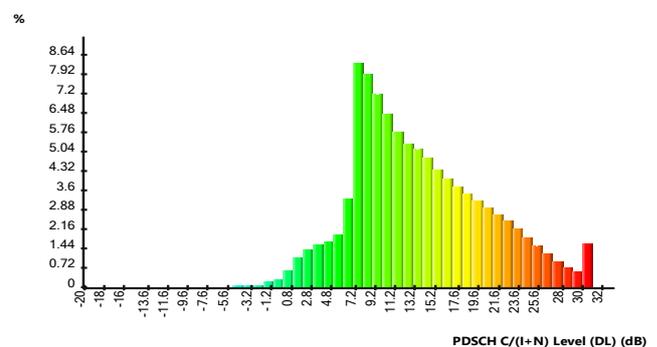


**Gambar 9.** Histogram nilai Cakupan sinyal skenario SFR

Pada Gambar 9. merupakan Histogram nilai Cakupan sinyal skenario SFR dengan nilai rata – ratanya adalah -72,4 dBm

##### 4.2 Analisa Simulasi Nilai CINR

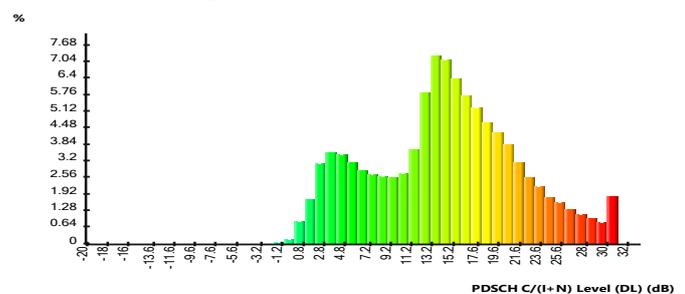
###### 1. Frequency Reuse 1



**Gambar 9.** Histogram nilai CINR skenario FR1

Pada Gambar 9. merupakan Histogram nilai CINR skenario FR1 dengan nilai rata – ratanya adalah 12,25 dB

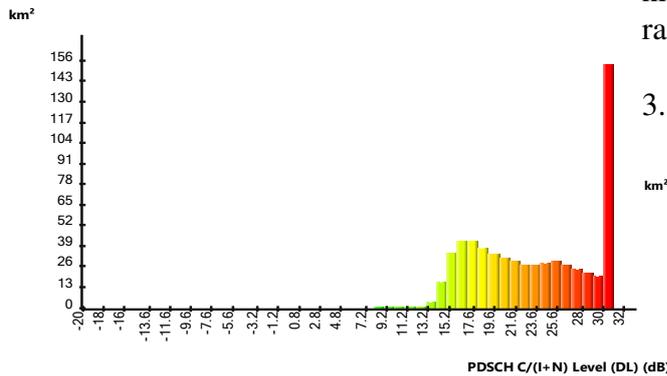
###### 2. Fractional Frequency Reuse



**Gambar 11.** Histogram nilai CINR skenario FFR

Pada Gambar 9. merupakan Histogram nilai Nilai CINR skenario FFR dengan nilai rata – ratanya adalah 14,01 dB

### 3. Soft Frequency Reuse

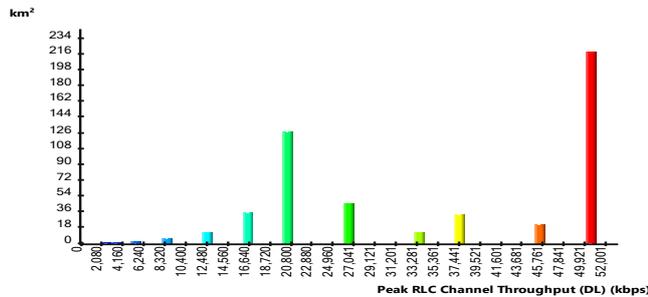


**Gambar 12.** Histogram nilai CINR skenario SFR

Pada Gambar 12. merupakan Histogram nilai CINR skenario SFR dengan nilai rata – ratanya adalah 21,41 dB

### 4.3 Analisa Histogram nilai Throughput

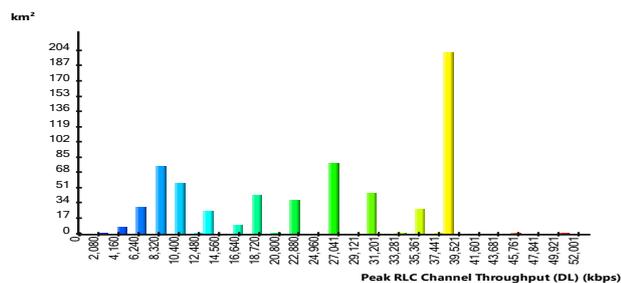
#### 1. Frequency Reuse 1



**Gambar 13.** Histogram nilai Throughput skenario FR1

Pada Gambar 13. merupakan Histogram nilai CINR skenario FR1 dengan nilai rata – ratanya adalah 39.170,09 kbps.

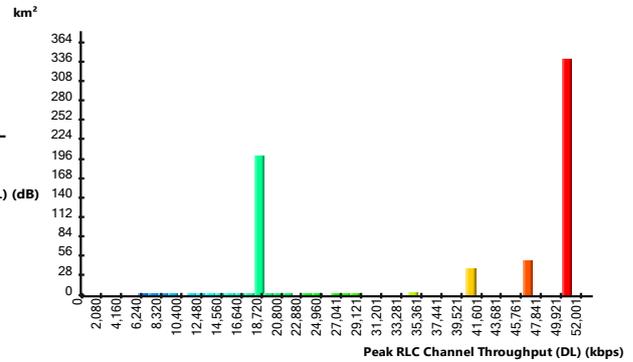
#### 2. Fractional Frequency Reuse



**Gambar 14.** Histogram nilai Throughput skenario FFR

Pada Gambar 14. merupakan Histogram nilai CINR skenario FFR dengan nilai rata – ratanya adalah 23.466,93 kbps.

### 3. Soft Frequency Reuse



**Gambar 15.** Histogram nilai Throughput skenario SFR

Pada Gambar 15. merupakan Histogram nilai CINR skenario SFR dengan nilai rata – ratanya adalah 40.547,67 kbps.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Dibandingkan dengan *frequency reuse 1* yang nilai cakupan sinyal rata – ratanya sebesar -79,12 dBm, nilai cakupan sinyal rata – rata pada *fractional frequency reuse* meningkat sebesar -72,4 dBm, sedangkan pada *soft frequency reuse* meningkat lagi sebesar -67,72 dBm.
2. Dibandingkan dengan *frequency reuse 1* yang nilai CINRnya sebesar 12,25 dB, nilai CINR pada *fractional frequency reuse* meningkat sebesar 14,01 dB, sedangkan pada *soft frequency reuse* meningkat lagi sebesar 21.14 dB.
3. Pada *fractional frequency reuse*, nilai throughput menurun sebesar 40,1% dibandingkan *frequency reuse 1*, sedangkan dengan metode *soft frequency reuse* naik sebesar 4% dibandingkan *frequency reuse 1*.
4. *Soft frequency reuse* mempunyai performansi yang paling bagus dengan adanya peningkatan nilai cakupan sinyal rata – rata sebesar -67,72 dBm, dan peningkatan

nilai CINR sebesar 21.14 dB, serta kenaikan throughput sebesar 4%

## 5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut penulis merekomendasikan untuk melakukan penelitian menggunakan metode duplex TDD , menggunakan frekuensi 2100 MHz

## DAFTAR PUSTAKA

- Yahiya, Tara, 2011. *Understanding LTE and its Performance*. Springer Science+Business Media. London
- Dr. Wajih A. Abu-Al-Saud, 2013. EE 499: Wireless & Mobile Communications (082).
- Dewi arisyanti, 2013. *Analisis Dan Simulasi Pemakaian Bersama Alokasi Frekuensi 2,5 Ghz Untuk Teknologi Imt Wimax Bergerak Dan Tv Satelit di Indonesia*. Universitas Hasanuddin Makassar. Makassar
- Frans Risky J.P. , 2015. *Analisis Perancangan Jaringan Long Term Evolution (Lte) Di Wilayah Kota Banda Aceh Dengan Fractional Frequency Reuse Sebagai Manajemen Interferensi*. Universitas Telkom, Bandung.
- Hung-Bin Chang dan Izhak Rubin, 2015. *Optimal Downlink and Uplink Fractional Frequency Reuse in Cellular Wireless Networks*. IEEE.
- Sani Umar Abdullahi, Jian Liu, Ci Huang and Xiaonan Zhang, 2016, *Enhancing Throughput Performance in LTE-Advanced Hetnets with Buffered Fractional Frequency Reuse*. University of Science and Technology Beijing (USTB). Beijing, P.R. China.
- Zhiqiang Qi, Tao Peng, Libin Liu, Pengbo Zhu, Wenbo Wang, 2016, *Analytical Evaluation of Throughput and Power Efficiency using Fractional Frequency Reuse*. Beijing University of Posts and Telecommunication. Beijing, China