

Manajemen Interferensi *Femtocell* Menggunakan Metode *Fractional Frequency Reuse (FFR)* pada Jaringan *Ultra-Dense Network (UDN)* dengan *Sektorisasi Macrocell*

Sitronella Nurfitriani Hasim^{1*}, Novalia Pertiwi², Adinda Azzahra³, Anggrit Dewangkara Yudha Pinangkis⁴, Soraida Sabella⁵, Muhammad Rizky Hikmatullah⁶

^{1,2,3,4,5,6}Institut Teknologi Sumatera/Teknik Telekomunikasi; Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365; (0721) 8030188

Received: 16-12-2025

Accepted: 22-01-2026

Keywords:

3-5 keyword;
Algorithm a;
B algorithms;
Complexity.

Correspondent Email:

sitronella.hasim@tt.itera.ac.id

Abstrak. Perkembangan teknologi 5G dengan implementasi Ultra Dense Network (UDN) telah membawa tuntutan baru dalam pengelolaan interferensi dan alokasi spektrum frekuensi. Tantangan utama yang dihadapi adalah tingginya tingkat interferensi antar sel, terutama antara macrocell dan femtocell dalam lingkungan jaringan yang sangat padat. Penelitian ini menerapkan metode Fractional Frequency Reuse (FFR) untuk manajemen interferensi pada jaringan femtocell downlink, dengan alokasi 4 sub frekuensi ke 3 sektor area cell edge dan 1 sektor cell center. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyajikan skema FFR berbasis sektorisasi macrocell secara sistematis untuk mengurangi interferensi cross-tier dan co-tier, serta menganalisis dampaknya terhadap SINR, throughput, dan BER pada lingkungan lingkungan UDN yang padat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan FFR secara konsisten menurunkan proporsi pengguna dengan SINR di bawah 15 dB dari hampir seluruh populasi pengguna menjadi hanya sebagian kecil saja. Throughput di bawah 100 Mbps turun dari 100% menjadi 0%, sedangkan BER di atas 0,01 berkurang dari 100% menjadi 0%, dengan nilai minimum mencapai 10^{-13} . Kinerja optimal sektor ini didukung oleh penerapan metode yang menghilangkan interferensi cross-tier. Nilai SINR berbanding lurus dengan throughput dan berbanding terbalik dengan BER.

Abstract. The development of 5G technology with the implementation of Ultra Dense Network (UDN) has introduced new demands in interference management and frequency spectrum allocation. The main challenge is the high level of inter-cell interference, especially between macrocells and femtocells in highly dense network environments. This paper applies the Fractional Frequency Reuse (FFR) method for interference management in downlink femtocell networks by allocating four sub-frequencies to three sectors in the cell-edge area and one sector in the cell-center area. The main contribution of this work is to present a macrocell-sectorization-based FFR scheme that systematically reduces cross-tier and co-tier interference and analyzes its impact on SINR, throughput, and BER in dense UDN environments. The simulation results show that the application of FFR consistently reduces the proportion of users with SINR below 15 dB from almost the entire user population to only a small fraction. The proportion of users with throughput below 100 Mbps decreases from 100% to 0%, while BER above 0.01 also decreases from 100% to 0%, with a minimum value reaching 10^{-13} . The optimal performance of this sector is supported by the

implementation of a method that eliminates cross-tier interference. The SINR value is directly proportional to throughput and inversely proportional to BER.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat teknologi komunikasi nirkabel di tahun 2024 telah merevolusi layanan data berkecepatan tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah pengguna perangkat nirkabel dan kebutuhan layanan data berkecepatan tinggi terus meningkat secara eksponensial. Menurut laporan terbaru, cakupan jaringan 5G diperkirakan mampu mendukung hingga 1 juta perangkat per kilometer persegi, menunjukkan tren yang mengarah pada era jaringan ultra-padat (Ultra-Dense Network/UDN). Inovasi ini memungkinkan pengguna bertukar data secara nirkabel dari jarak jauh menggunakan perangkat portabel, bahkan dalam kondisi bergerak [1]. Evolusi jaringan seluler telah mencapai terobosan signifikan dalam efisiensi transmisi data [2]. Salah satu cara sederhana untuk meningkatkan kapasitas dan kualitas layanan jaringan seluler adalah dengan memperkecil ukuran sel [3]. Sel yang lebih kecil mampu melayani lebih banyak pengguna secara efisien dengan kecepatan data yang lebih tinggi. Untuk itu, dilakukan penyebaran femtocell sebagai solusi peningkatan kapasitas jaringan.

Femtocell merupakan base station mini untuk meningkatkan cakupan dan kapasitas di dalam ruangan padat pengguna [4]. Femtocell muncul sebagai solusi dengan cakupan sel yang sangat terbatas. Ketika femtocell diterapkan secara padat dalam area macrocell jaringan seluler, akan terbentuk jaringan ultra-padat yang dikenal sebagai teknologi Ultra-Dense Network (UDN). Jaringan 5G UDN dirancang khusus untuk memenuhi tuntutan kapasitas broadband yang eksponensial di era digital [5]. 5G UDN menghadirkan kemampuan untuk mendukung kepadatan perangkat hingga 1 juta perangkat per km² [6]. Namun, penggunaan femtocell pada UDN sering kali menimbulkan masalah interferensi spektrum frekuensi [7], terutama ketika sinyal dari femtocell berinteraksi dengan sinyal dari base station milik macrocell atau femtocell lain yang berada dalam jarak dekat. Interferensi dapat

menurunkan kualitas layanan, memperlambat kecepatan data, hingga menyebabkan hilangnya koneksi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengusulkan teknik manajemen interferensi pada jaringan heterogen, seperti *interference avoidance*, *interference cancellation*, dan *interference coordination* berbasis penjadwalan, pengaturan daya, ataupun alokasi sumber daya radio. Di sisi lain, metode *Fractional Frequency Reuse* (FFR) [8] banyak dikaji sebagai solusi untuk mengurangi interferensi di area *cell edge* dengan membagi pita frekuensi ke beberapa zona reuse yang berbeda. Studi-studi tersebut umumnya berfokus pada jaringan macrocell ataupun skenario heterogen makro-pico, serta menilai kinerja dari sisi SINR atau throughput secara terpisah [17]. Sebagian besar studi terdahulu belum secara eksplisit memodelkan skema FFR dengan pembagian sub-frekuensi ke beberapa sektor *cell edge* dan *cell center* dalam lingkungan femtocell yang sangat padat [18], sehingga dampak terukur terhadap interferensi *cross-tier* dan *co-tier* pada konfigurasi tersebut belum tergambar secara komprehensif.

Pada penelitian ini mengusulkan skema FFR berbasis sektorisasi macrocell pada jaringan femtocell UDN *downlink*, di mana empat sub-frekuensi dialokasikan ke tiga sektor *cell edge* dan satu sektor *cell center*. Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) merancang skema FFR yang secara sistematis ditujukan untuk menekan interferensi *cross-tier* dan *co-tier* pada lingkungan femtocell yang padat, dan (2) melakukan analisis menyeluruh terhadap pengaruh skema tersebut terhadap SINR, throughput, dan BER dibandingkan sistem konvensional dengan *frequency reuse* 1.

Berbeda dengan penelitian berbasis FFR terdahulu yang umumnya menerapkan pembagian frekuensi secara statis pada sel konvensional, kebaruan utama dari penelitian ini terletak pada skema FFR dengan teknik sektorisasi macrocell di lingkungan *Ultra-Dense Network* (UDN). Penelitian ini

mengusulkan pendekatan alokasi spektrum yang membagi area *cell-edge* menjadi tiga sektor memitigasi interferensi *cross-tier* pada jaringan femtocell yang padat. Oleh karena itu, pentingnya penerapan metode FFR berbasis sektorisasi ini terletak pada kemampuannya memitigasi interferensi pada *cell-edge* yang diakibatkan interferensi dari macrocell tetangga (interferensi *cross-tier*). Dalam skenario UDN di mana ribuan femtocell beroperasi secara bersamaan, metode manajemen interferensi standar sering kali gagal mempertahankan *Quality of Service (QoS)* di area tepi sel, sehingga pada penelitian ini diusulkan metode FFR untuk meningkatkan QoS femtocell yang berada di area *cell-edge*.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu mengurangi interferensi jaringan femtocell khususnya di daerah tepi sel serta menjadi referensi pengelolaan spektrum frekuensi yang lebih efisien, khususnya dalam mendukung perkembangan jaringan 5G/6G di lingkungan padat pengguna (UDN).

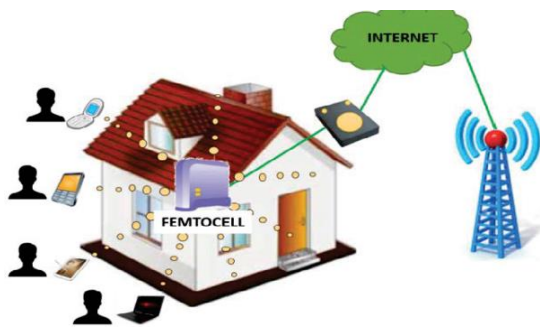
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Seluler

Sistem komunikasi seluler adalah sistem telekomunikasi nirkabel yang membagi area layanan menjadi sel-sel kecil (*cells*), masing-masing dilayani oleh sebuah stasiun pangkalan (*base station*). Desain ini memungkinkan reuse frekuensi sehingga kapasitas spektrum meningkat tanpa interferensi yang signifikan.

2.2. Femtocell

Femtocell merupakan teknologi yang dirancang untuk meningkatkan kualitas dan ketersediaan sinyal dalam jaringan seluler, terutama di area dengan sinyal lemah.



Gambar 1. *Femtocell in Cellular Network* [10]

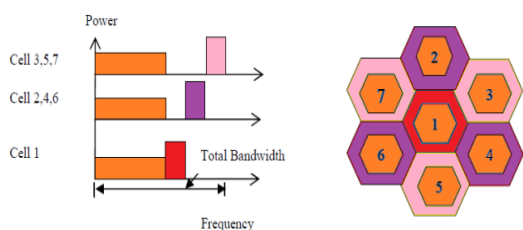
Femtocell dapat didefinisikan sebagai *base transceiver station (BTS)* mini yang beroperasi pada daya rendah antara 13-25 dBm dan memiliki cakupan sekitar 10-30 meter [9]. Teknologi ini dikenal dengan beberapa istilah, seperti *femtocell access point (FAP)* untuk jaringan LTE.

2.3. Interferensi pada Femtocell

Femtocell memiliki daya pancar rendah dan biasanya dipasang di dalam ruangan. Namun, Keberadaan *femtocell* juga berpotensi menimbulkan interferensi akibat *user* yang menggunakan kanal komunikasi secara bersamaan [11]. Interferensi pada *femtocell* terjadi jika sinyal dari berbagai sumber saling tumpang tindih, hal ini mengganggu kualitas penerimaan sinyal pada *user*. Pada Gambar 1 sumber interferensi dapat berasal dari *femtocell* lain, dari jaringan *macrocell* atau dari perangkat nirkabel lainnya yang beroperasi pada frekuensi yang sama. Semakin banyak *femtocell* yang beroperasi di suatu area, semakin tinggi kemungkinan terjadinya interferensi.

2.4. Metode Fractional Frequency Reuse (FFR)

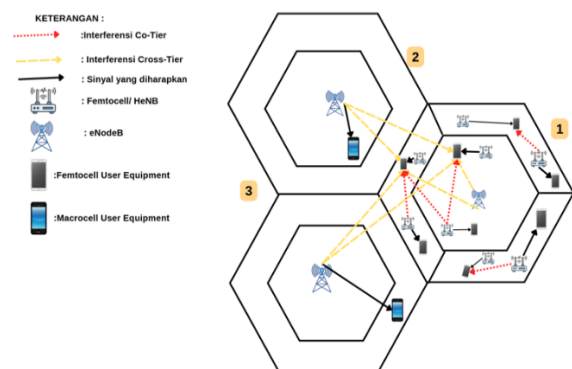
FFR adalah salah satu metode manajemen interferensi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi spektral dan kualitas layanan pada jaringan seluler berbasis OFDMA. FFR membagi spektrum frekuensi menjadi beberapa sub frekuensi, yang kemudian dialokasikan secara berbeda ke wilayah *cell center* dan *cell edge* [12]. Pada Gambar 2, area *cell center* menggunakan frekuensi dengan faktor reuse yang lebih rendah, sehingga beberapa sel dapat berbagi frekuensi yang sama tanpa menimbulkan interferensi signifikan. Sementara itu, pada area *cell edge*, setiap sel dialokasikan frekuensi yang berbeda satu sama lain dengan menerapkan faktor reuse yang bervariasi. Metode ini diterapkan untuk meminimalkan interferensi antar sel di area tepi sel.



Gambar 2. Skema Metode FFR [13]

3. METODE PENELITIAN

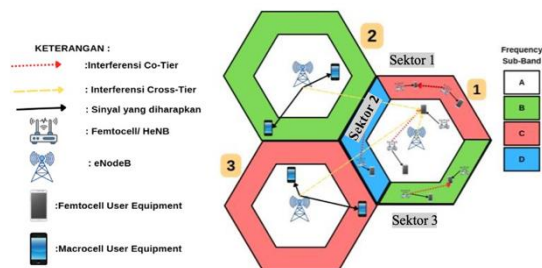
Pada penelitian ini, kami mempertimbangkan dua skenario. Semua skenario menggunakan teknologi OFDMA pada transmisi downlink. Gambar 3 merupakan skenario pertama dengan memodelkan tiga macrocell tetapi fokus pengamatan dilihat dari macrocell 1. Pada skenario ini semua macrocell memiliki frekuensi yang sama baik di *cell center* maupun di *cell edge*. Skema ini bisa disebut sebagai sistem konvensional yang menggunakan reuse frekuensi 1 (RF=1). Pada Gambar 3 terlihat bahwa ketika femtocell access point (FAP) melakukan transmisi downlink ke arah user, pada waktu yang bersamaan basestation pada macrocell 2 dan 3 juga melakukan transmisi downlink ke arah user. Maka, user femtocell pada macrocell 1 menerima interferensi cross-tier dari base station yang berada pada macrocell 2 dan 3. Selain itu, user femtocell juga memperoleh interferensi co-tier dari femtocell yang lain di macrocell yang sama karena penggunaan frekuensi reuse 1 pada setiap femtocell.



Gambar 3. Skema Sistem Konvensional

Skenario yang kedua adalah adalah penerapan metode FFR dalam manajemen interferensi. Metode ini membagi macrocell ke cell edge dan cell center dalam frekuensi yang berbeda-beda. Penggunaan reuse factor ditetapkan juga pada tiap cell dalam macrocell,

untuk cell edge diterapkan reuse factor 3 yang artinya penggunaan frekuensi yang berbeda di masing-masing sektor di macrocell. Tetapi, pada cell center menggunakan sistem reuse factor 1 seperti menggunakan kembali frekuensi yang sama dalam macrocell. Gambar 4 menampilkan manajemen interferensi menggunakan metode FFR di transmisi downlink.



Gambar 4. Skenario dengan Metode FFR

3.1. Model Kanal

Model kanal yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada standar 3GPP TR 36.814 versi 10.2.0 Rilis 10 dan 3GPP TR 36.922 versi 10.0.0 Rilis 10. Secara spesifik, model kanal untuk femtocell di area urban dirumuskan pada persamaan (1) sebagai berikut [14]:

$$PL(dB) = 15.3 + 37.6 \log_{10}(d) \quad (1)$$

Model kanal untuk area macrocell area urban dapat dilihat pada persamaan (2) berikut.

$$PL(dB) = 127 + 30 \log_{10} \left(\frac{d}{1000} \right) + L_{ow} \quad (2)$$

d merupakan jarak antara user dengan base station dalam satuan meter dan L_{ow} adalah rugi-rugi penetrasi dinding bangunan, jendela, dan lain-lain.

3.2. Signal to Interference and Noise Rasio (SINR)

Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) dihitung sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kinerja tautan pada jaringan femtocell-macrocell, yang dinyatakan dalam persamaan (3) berikut [15]:

$$SINR = \frac{P_S^F}{\sum_{S=1}^n I_S + \sum_{K=1}^M I_K + N} \quad (3)$$

Dimana :

P_S^F = daya transmisi dari HeNB ke FUE (dalam mWatt atau Watt)

I_s = interferensi co-tier dengan sesama femtocell (dalam mWatt atau Watt)

I_k = interferensi cross-tier dari eNB ke FUE (dalam mWatt atau Watt)

N = daya noise (dalam mWatt atau Watt)

Daya yang ditransmisikan dari HeNB ke FUE (daya untuk sinyal yang diinginkan) atau daya yang ditransmisikan dari HeNB lain ke FUE (interferensi co-tier) dapat dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut.

$$P_S^F (dBm) = P_{FAP} (dBm) - L_{femto} (dB) \quad (4)$$

P_{FAP} adalah daya yang ditransmisikan FAP yang diinginkan atau daya FAP yang tidak diinginkan (interferensi).

3.3. Throughput

Throughput diperoleh dengan menggunakan persamaan kapasitas Shannon [16] seperti dibawah ini.

$$C (Mbps) = B \times \log_2(1 + SINR) \quad (5)$$

Dimana :

C = sistem throughput (Mbps)

B = sistem bandwidth (MHz)

SINR = Signal to Interference and Noise Rasio

3.4. Parameter Simulasi

Dalam melakukan simulasi, dibutuhkan beberapa parameter jaringan untuk manajemen interferensi femtocell untuk mendapatkan skenario yang sesuai pada daerah UDN pada transmisi *downlink*. Tabel 1 menunjukkan daftar parameter yang dibutuhkan suatu jaringan yang meliputi jumlah *base station* dan *user* yang digunakan, besar daya pancar dan penggunaan frekuensi.

Tabel 1 Parameter Simulasi

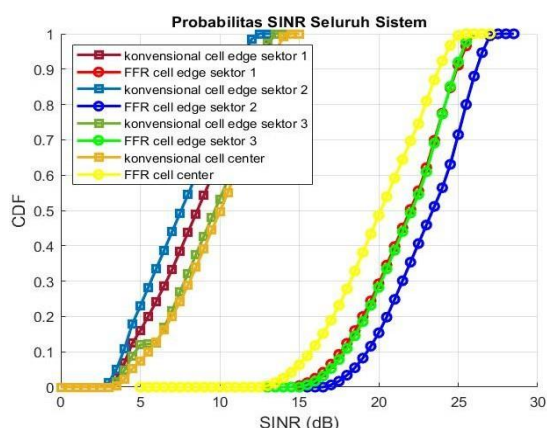
No	Parameter	Nilai
1	Jumlah <i>macrocell</i>	3 <i>macrocell</i>
2	Jumlah <i>femtocell</i>	100 Buah
3	Jumlah <i>user macrocell</i>	100 Buah
4	Jumlah <i>user femtocell</i>	100 Buah
5	<i>Bandwidth</i> jaringan	20 MHz
6	Radius <i>macrocell</i>	1000 Meter
7	Radius <i>femtocell</i>	30 Meter
8	<i>Power transmit macrocell base Station</i>	40 dBm
9	<i>Power transmit femtocell</i>	20 dBm
10	<i>Frequency reuse cell edge macrocell 1</i>	3
11	<i>Frequency reuse cell center macrocell 1</i>	1

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kualitas layanan femtocell melalui penerapan metode Fractional Frequency Reuse (FFR) guna memitigasi interferensi. Kinerja sistem dianalisis menggunakan simulasi MATLAB dengan parameter ukur meliputi SINR, throughput, dan BER. Simulasi ini berfokus pada transmisi *downlink* dengan meninjau dua tipe interferensi: interferensi co-tier antar sesama femtocell dalam satu area, dan interferensi cross-tier yang ditimbulkan oleh MBS pada Macrocell 2 dan 3 terhadap pengguna femtocell di Macrocell 1. Analisis terbagi menjadi dua skenario utama. Pertama, evaluasi sistem konvensional menggunakan skema frequency reuse 1 pada seluruh area sel (center dan edge).

Kedua, evaluasi sistem dengan metode Fractional Frequency Reuse (FFR), di mana area cell center tetap menerapkan reuse 1, sedangkan area cell edge pada Macrocell 1 menerapkan reuse 3 yang dibagi menjadi tiga sektor, berbeda dengan area edge Macrocell 2 dan 3 yang hanya terdiri dari satu sektor. Hasil komparasi kinerja antara sistem konvensional dan FFR divisualisasikan melalui grafik; parameter SINR dan throughput disajikan menggunakan Cumulative Distribution Function (CDF), sementara BER ditampilkan dengan Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF).

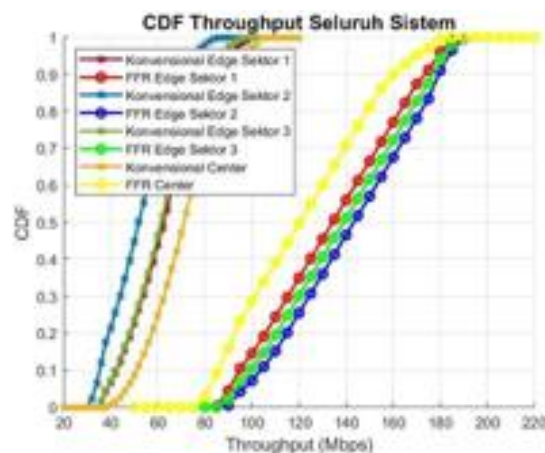
Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai SINR pada seluruh sel antara sistem konvensional dan metode FFR. Dengan target SINR di atas 20 dB, tidak ada bagian pada sistem konvensional baik cell edge sektor 1, 2, dan 3 maupun cell center yang mencapai target tersebut.



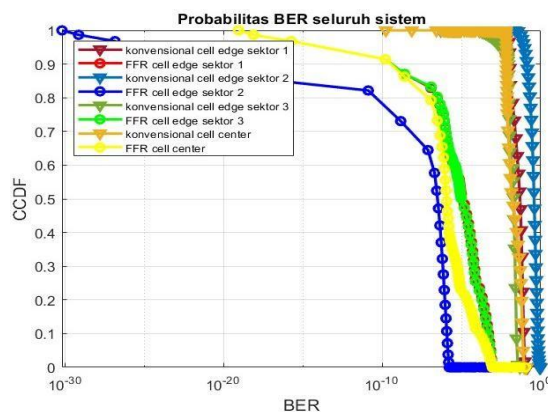
Gambar 5. Perbandingan SINR pada Seluruh Cell antara Sistem Konvensional dan Metode FFR

Setelah diterapkan metode FFR, maka yang belum mencapai target 20 dB adalah 50% untuk cell center serta 35%, 15%, dan 34% untuk cell edge sektor 1, 2, dan 3. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan FFR meningkatkan peluang pengguna memperoleh kualitas sinyal yang lebih baik, sehingga metode tersebut efektif mengurangi interferensi dan meningkatkan kinerja jaringan, terutama di area cell edge. Grafik pada Gambar 6 merupakan perbandingan *throughput* pada seluruh *cell* antara sistem konvensional dan metode FFR. Pada sistem konvensional, seluruh sel memiliki probabilitas nilai *throughput* di bawah 120 Mbps sebesar 100%. Artinya, tidak ada satu pun user femtocell yang mampu memperoleh *throughput* melebihi ambang tersebut, yang mencerminkan tingginya interferensi dalam penggunaan spektrum akibat penggunaan reuse 1 di microcell 1. Setelah diterapkan metode FFR maka terjadi peningkatan performa *throughput* yang sangat signifikan di semua area. Distribusi *throughput* meningkat dimana probabilitas *throughput* kurang dari 100 Mbps adalah 0% pada seluruh area. Dapat disimpulkan probabilitas nilai *throughput* menggunakan metode FFR bukan hanya memberikan perbaikan signifikan di area

cell edge yang sebelumnya paling terdampak oleh interferensi, tetapi juga menjadikan cell center sebagai area dengan performa *throughput* optimal dibandingkan sistem konvensional.



Gambar 6. Perbandingan Throughput pada Seluruh Cell antara Sistem Konvensional dan Metode FFR



Gambar 7. Perbandingan BER pada Seluruh Cell antara Sistem Konvensional dan Metode FFR

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai BER pada seluruh sistem, mencakup area cell edge sektor 1, 2, dan 3, serta area cell center, untuk sistem konvensional dan sistem yang menerapkan metode FFR. Kurva-kurva dengan penanda segitiga merepresentasikan sistem konvensional, sementara kurva-kurva dengan penanda lingkaran mewakili sistem FFR. Berdasarkan grafik CCDF, dapat diamati bahwa bahwa sistem konvensional pada semua sektor memiliki nilai BER tinggi, mayoritas di atas 10^{-3} hingga 10^{-2} . Setelah diterapkan metode FFR, seluruh kurva BER bergeser ke

kiri dengan nilai yang jauh lebih kecil, bahkan hingga 10^{-11} . Hal ini menunjukkan bahwa FFR efektif dalam menurunkan tingkat kesalahan bit dan mengurangi interferensi baik di area cell edge maupun cell center. Dengan demikian, FFR terbukti meningkatkan kualitas transmisi sistem secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN

- a. Penerapan metode *Fractional Frequency Reuse* (FFR) terbukti mampu meningkatkan kualitas sinyal secara signifikan dibandingkan sistem konvensional. Pada sistem konvensional, tidak ada satu pun pengguna (0%) baik di area *cell edge* (sektor 1, 2, dan 3) maupun *cell center* yang mampu mencapai target SINR di atas 20 dB. Setelah penerapan FFR, probabilitas pengguna yang belum mencapai target 20 dB menurun drastis, yaitu menjadi 50% untuk *cell center* serta masing-masing 35%, 15%, dan 34% untuk *cell edge* sektor 1, 2, dan 3. Hal ini mengindikasikan mayoritas pengguna kini mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik setelah menerapkan metode FFR.
- b. Manajemen interferensi menggunakan FFR memberikan dampak positif yang besar terhadap kecepatan transfer data (*throughput*) di seluruh area sel. Pada sistem konvensional, seluruh pengguna (100%) memiliki *throughput* di bawah 120 Mbps, yang menunjukkan kinerja sangat rendah akibat tingginya interferensi. Setelah menerapkan FFR, terjadi peningkatan performa di mana probabilitas *throughput* di bawah 100 Mbps menjadi 0% di seluruh area. Artinya, seluruh pengguna kini menikmati kecepatan data minimal 100 Mbps, bahkan area *cell center* menjadi area dengan performa *throughput* paling optimal.
- c. Metode FFR efektif dalam menurunkan tingkat kesalahan transmisi data akibat interferensi, baik *co-tier* maupun *cross-tier*. Nilai BER pada sistem konvensional sangat tinggi, dengan mayoritas berada di kisaran 10^{-3} hingga 10^{-2} , yang mengindikasikan kualitas transmisi yang buruk. Kurva BER bergeser signifikan ke

arah nilai yang jauh lebih kecil, mencapai hingga 10^{-11} . Penurunan drastis ini membuktikan bahwa transmisi data menjadi jauh lebih andal dan minim *error* setelah penerapan manajemen interferensi FFR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2024 dengan nomor kontrak. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sumatera (ITERA) yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini melalui Program BIMA, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Pyun, W. Lee, dan O. Jo, "Uplink resource allocation for interference mitigation in two-tier femtocell networks," *Mobile Information Systems*, vol. 2018, hal. 1-6, Des. 2018.
- [2] Y. Wei dan S.-H. Hwang, "Optimization of cell size in ultra-dense networks with multi-attribute user types and different frequency bands," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, hal. 1-10, Okt. 2018.
- [3] S. N. Hasim dan M. Susanto, "Performance evaluation of cell-edge femtocell densely deployed in OFDMA-based macrocellular network," dalam *Prosiding Seminar Internasional ke-3 tentang Penelitian Teknologi Informasi dan Sistem Cerdas (ISRITI)*, Des. 2020, hal. 262-266.
- [4] H. Ji *et al.*, "Interference avoidance and coordination for small cells in B4G cellular networks," dalam *Prosiding Workshop IEEE Globecom (GC Wkshps)*, Des. 2013, hal. 170-175.
- [5] D. C. Shah dan A. Malhotra, "Coordinated inter cell interference avoidance techniques and performance parameters for cross layer interference in LTE-A network," dalam *Prosiding Konferensi Internasional ke-6 IEEE tentang Komputasi Lanjutan (IACC)*, Feb. 2016, hal. 661-666.
- [6] M. Rahman, H. Yanikomeroglu, dan W. Wong, "Interference avoidance with dynamic inter-cell coordination for downlink LTE system," dalam *Prosiding Konferensi*

- Komunikasi dan Jaringan Nirkabel IEEE*, April 2009, hal. 1-6.
- [7] H. Peng dan T. Fujii, "Joint resource allocation and interference avoidance with fairness consideration for multi-cell cognitive radio networks," dalam *Prosiding Konferensi Komunikasi dan Jaringan Nirkabel IEEE (WCNC)*, April 2012, hal. 1348-1353.
- [8] R. Hou, Y. Xie, K. Lui, dan J. Li, "Scheduling in dense small cells with successive interference cancellation," *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 6, hal. 1035-1038, Juni 2014.
- [9] A. Kilzi, J. Farah, C. Abdel Nour, dan C. Douillard, "Mutual successive interference cancellation strategies in NOMA for enhancing the spectral efficiency of CoMP systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 68, no. 2, hal. 1213-1226, Feb. 2020.
- [10] V. Fernández-López, K. I. Pedersen, B. Soret, J. Steiner, dan P. Mogensen, "Improving dense network performance through centralized scheduling and interference coordination," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 5, hal. 4371-4382, Mei 2017.
- [11] B. Solana dan O. Moreno, "Evaluation of an interference-coordination algorithm based on self-organizing techniques on a real LTE deployment scenario," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 8, no. 2, hal. 180-183, April 2020.
- [12] J. Zheng *et al.*, "Joint energy management and interference coordination with max-min fairness in ultra-dense HetNets," *IEEE Access*, vol. 6, hal. 32588-32600, Mei 2018.
- [13] A. S. Hamza, S. S. Khalifa, H. S. Hamza, dan K. Elsayed, "A survey on inter-cell interference coordination techniques in OFDMA-based cellular networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 4, hal. 1642-1670, Kuartal Keempat 2013.
- [15] Y. Tao, L. Liu, S. Liu, dan Z. Zhang, "A survey: several technologies of non-orthogonal transmission for 5G," *China Communications*, vol. 12, no. 10, hal. 1-15, Okt. 2015.
- [16] X. Tian dan W. Jia, "Improved clustering and resource allocation for ultra-dense networks," *China Communications*, vol. 17, no. 2, hal. 220-231, Feb. 2020.
- [17] A. S. Hamza, S. S. Khalifa, H. S. Hamza, and K. Elsayed, "A Survey on Inter-Cell Interference Coordination Techniques in OFDMA-Based Cellular Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 4, pp. 1642-1670, Fourth Quarter 2013, doi: 10.1109/SURV.2013.013013.00028.
- [18] N. Ali, M. Eldakroury, M. El-Soudani, H. ElSayed, R. Daoud, and H. H. Amer, "New hybrid frequency reuse method for packet loss minimization in LTE network," *Journal of Advanced Research*, vol. 6, no. 5, pp. 697-704, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.jare.2014.10.008.
- [19] F. N. Akbar, "Manajemen Interferensi Menggunakan Metode Fractional Frequency Reuse (FFR) Pada Teknologi LTE-Advanced," 2023.