

# Optimasi Pengalokasian Sumber Daya LTE Menggunakan Algoritma PSO dan Waterfilling Pada MIMO-OFDM 2×2

Antonio Afta, Arfianto Fahmi, dan Desti Madya Saputri  
Jurusan Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
aftantonio@gmail.com

**Abstrak**— Dewasa ini teknologi yang digunakan pada sistem komunikasi seluler yang sedang mengalami perkembangan ialah 4G (Fourth Generation) Long Term Evolution. Teknologi tersebut menggunakan sistem modulasi orthogonal frequency division multiplexing yang menggunakan sinyal subcarrier. Pada subcarrier terdapat physical resource block yang menjadi unit terkecil yang menjadi sumber daya untuk proses pengalokasian sumber daya radio terhadap pelanggan. Sehingga diperlukannya sebuah metode agar proses pengalokasian tersebut dapat meningkatkan kualitas layanan informasi. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk memperoleh metode yang tepat dalam pengalokasian sumber daya radio dengan membandingkan beberapa metode yang digunakan dan pengaruhnya terhadap jumlah pelanggan dengan memperhatikan beberapa parameter keluaran antara lain throughput, fairness, dan efisiensi spektral. Pada penelitian ini penulis melakukan proses pengalokasian sumber daya radio pada software pemrograman matrix laboratory dengan menggunakan algoritma particle swarm optimization. Metode pengalokasian daya menggunakan teknik waterfilling serta antenna yang menggunakan teknik multiple input multiple output untuk meningkatkan kualitas layanan informasi. Hasil dari penelitian ini ialah tampilan berupa grafik kualitas layanan informasi yang membandingkan antara metode yang digunakan terhadap jumlah pelanggan. Analisis kesimpulan yang didapat dari penelitian ini ialah algoritma particle swarm optimization dapat dioptimasi dengan menggunakan antenna multiple input multiple output untuk meningkatkan efisiensi spektral dan throughput, menggunakan teknik waterfilling untuk meningkatkan fairness.

**Kata kunci**—physical resource block; particle swarm optimization; waterfilling; multiple input multiple output; orthogonal frequency division multiplexing

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi *fourth generation of mobile network technology* (4G) secara masif sudah mulai diterapkan dalam sistem komunikasi seluler. Long term evolution (LTE) secara resmi diperkenalkan oleh oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) sebagai standar LTE. Teknologi tersebut memiliki keandalan yang baik disamping memiliki laju data yang tinggi mencapai 100 Mbps untuk arah *downlink* [1]. Salah satu bagian yang menjadi andalan dari cara kerja teknologi tersebut ialah sistem modulasi *Orthogonal Frequency Division*

*Multiplexing* (OFDM), sistem tersebut sekaligus menjadi pembeda diantara teknologi seluler lainnya. Sistem modulasi tersebut bekerja dengan cara menumpangkan sinyal informasi yang akan dikirimkan kedalam sinyal *carrier* berfrekuensi tinggi yang telah dibagi menjadi beberapa sinyal *carrier* berfrekuensi rendah yang dinamakan *subcarrier*. Pada *subcarrier* tersebut terdapat unit terkecil dari sumber daya LTE, yakni *Physical Resource Block* (PRB). Sumber daya itulah yang akan dialokasikan kepada *User Equipment*. Sehingga diperlukan metode yang dapat mengalokasikan PRB kepada UE secara tepat sehingga dapat menghasilkan kualitas layanan informasi yang optimal. Penelitian dengan menggunakan algoritma PSO telah dilakukan pada [2][3][4] yang mengalokasikan PRB menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) tanpa menggunakan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Pada penelitian [5] dilakukan proses pengalokasian PRB menggunakan algoritma PSO disertai penggunaan antenna MIMO. Pada penelitian ini akan dilakukan proses pengalokasian PRB dengan menggunakan antenna MIMO serta teknik alokasi daya menggunakan algoritma *waterfilling*. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk memperoleh metode yang tepat dalam pengalokasian PRB kepada UE sehingga diperoleh kualitas layanan informasi yang optimal. Pada Bab II akan dibahas mengenai metode-metode yang akan digunakan pada penelitian. Pada Bab III membahas mengenai analisis dari hasil yang telah diperoleh dari simulasi. Pada Bab IV akan membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari penelitian.

## II. METODE

Pada penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah penelitian menggunakan studi literatur yang diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan masalah penelitian ini. Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan algoritma PSO dalam proses pengalokasian PRB, belum menerapkan konfigurasi antenna MIMO dan teknik pengalokasian daya *waterfilling*, sehingga pada penelitian akan melakukan simulasi pengalokasian PRB menggunakan algoritma PSO disertai metode konfigurasi antenna MIMO 2×2 dan teknik pengalokasian daya *waterfilling* untuk menguji performansi metode tersebut dengan parameter performansi. Simulasi diawali dengan penyebaran *user*

dalam sebuah *cell* dengan radius 0,5 Km yang diasumsikan berada di daerah perkotaan.

#### A. Antena Multiple Input Multiple Output

Berdasarkan frekuensi kerja LTE yang akan digunakan, yaitu 1800 MHz maka model kanal yang cocok untuk digunakan ialah model kanal COST 231 – Hata. Model kanal tersebut digunakan untuk menghitung *pathloss* setiap *user* sesuai persamaan (1) [6].

$$L_{pathloss} = F + B \log D - E + G \quad (1)$$

dengan nilai variabel :

$$\begin{aligned} F &= 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hb \\ B &= 44.9 - 6.55 \log hb \\ E &= 3,2(\log_{10}(11,7554 h_m))^2 - 4,97 \\ G &= 3 \text{ dB (area metropolitan)} \\ D &= \text{jarak UE terhadap eNB (Km)} \\ hb &= \text{Tinggi eNodeB (Km)} \\ hm &= \text{Tinggi UE (Km)} \end{aligned}$$

Kemudian proses konfigurasi MIMO 2x2 yang mendapat masukan kondisi kanal dari seluruh *user* atau disebut juga *Channel State Information* (CSI). CSI tersebut adalah sekumpulan data dari kondisi kanal setiap *user* yang dikalikan dengan daya *Enhanced Node B* (eNB) yang berupa nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) sesuai persamaan (2) [6].

$$SINR_{n,v} = P_n \times H_{n,v} \quad (2)$$

Dimana,  $P_n$  daya pancar dari PRB<sub>n</sub> dan  $H_{n,v}$  adalah penguatan kanal *user k* pada PRB<sub>n</sub>. Kondisi kanal *user* diformulasikan dengan persamaan (3) [6][7] :

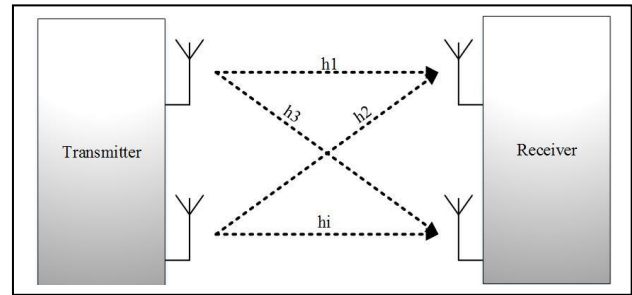
$$H_{n,v} = \frac{G_{Tx} \times G_{Rx}}{L_{pathloss} \times L_{penetration} \times S_h \times P_{rayleigh}(k \times T \times B_n \times NF)} \quad (3)$$

Dimana  $G_{tx}$  adalah penguatan eNB,  $G_{Rx}$  adalah penguatan UE.  $L_{pathloss}$ ,  $L_{penetration}$ ,  $L_{shadowing}$  berturut-turut adalah *pathloss*, *penetration loss* dan *loss shadowing*. Secara lengkap nilai SINR untuk simulasi perancangan ini dalam persamaan berikut ini:

$$SNR_{n,v} = \frac{P_n \times G_{Tx} \times G_{Rx}}{L_{pathloss} \times L_{penetration} \times S_h \times P_{rayleigh}(k \times T \times B_n \times NF)} \quad (4)$$

Antena MIMO 2x2 digambarkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat bahwa antena MIMO 2x2, terdapat 4 buah jalur transmisi yang memiliki kondisi kanal berbeda yang direpresentasikan kedalam sebuah matriks [5] :

$$h_i = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 \end{pmatrix} \quad (5)$$



Gambar 1 Konfigurasi Antena MIMO 2x2

Teknik transmisi yang digunakan adalah *spatial diversity* dengan *selective combining*. Teknik tersebut bekerja dengan cara yang mentransmisikan sebuah sinyal informasi pada 2 antena di pemancar menggunakan frekuensi yang sama, kemudian informasi yang dikirimkan dari masing-masing antena menempuh lintasan yang berbeda sehingga kualitas kanal nya pun berbeda. Pada akhirnya akan dipilih kualitas kanal yang paling baik ketika sampai di penerima yang menggunakan 2 antena, sesuai dengan persamaan (6).

$$H_{n,v} = \max (h_i), \text{ dimana } i= 1,2,3,4 \quad (6)$$

Proses *selective combining* dilakukan untuk memperoleh sebuah matriks  $CSI_{n,v}$  yang berisikan nilai SNR maksimum dari masing-masing jalur transmisi untuk setiap UE. Selanjutnya, matriks tersebut akan digunakan untuk proses pengalokasian PRB.

#### B. Alokasi PRB Menggunakan Algoritma PSO

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) berbasis pada kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Terdapat kandidat pencari solusi dari algoritma PSO yang dinamakan *particle* yang bergerak dalam ruang multidimensional. Ada beberapa parameter yang menunjukkan kondisi awal yang digunakan dalam algoritma PSO, diantaranya yaitu posisi dan kecepatan masing-masing *particle* dalam vektor dimana parameter tersebut dibangkitkan secara acak [8]. Kecerdasan buatan dari algoritma PSO terinspirasi dari perilaku sosial dan kecerdasan kolonial binatang, seperti sekumpulan burung. Dapat dianalogikan bahwa cara kerja algoritma PSO seperti sekelompok burung sedang mencari makanan pada suatu area yang sedang terbang di udara secara acak dengan posisi dan kecepatan masing-masing burung yang berbeda dan pada area tersebut hanya terhadap satu buah makanan. Sekelompok burung tersebut saling memberi informasi dalam mencari letak makanan tersebut, sehingga jika ada sekelompok burung yang memiliki jarak paling dekat dengan makanan, maka burung-burung yang lain akan bergerak mengikuti burung yang paling dekat dengan makanan tersebut [8].

Proses pemecahan masalah pada algoritma PSO dilakukan dengan perpindahan posisi *particle*. Pada setiap iterasi pada algoritmanya, akan dilakukan pembaruan nilai kecepatan dan posisi *particle* menuju posisi terbaik. Pada

saat bersamaan terjadi komunikasi diantara seluruh kumpulan partikel yaitu pertukaran informasi posisi terbaik dari setiap partikel. Pada dasarnya bukan tanpa sebab *particle* dapat bergerak menuju posisi terbaik tanpa mengetahui posisi terbaik tersebut dari partikel lain, melainkan *particle* tersebut mendapat informasi yang diperoleh dari partikel lain.

Nilai *fitness* untuk setiap *particle* mengikuti fungsi tujuan (*objective function*) yang sudah ditentukan. Pada saat kondisi *fitness* partikel pada posisi saat ini lebih dari *personal best* (*Pbest*) dan *global best* (*Gbest*), maka *Pbest* dan *Gbest* diatur menjadi posisi saat ini kemudian menghitung kecepatan iterasi berikutnya menurut persamaan (7) [8]:

$$V(i) = \theta V(i-1) + c_1 r_1 [Pbest - X(i-1)] + c_2 r_2 [Gbest - X(i-1)] \quad (7)$$

Dengan,

$$\theta = \theta_{max} - \left( \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{iterasi\ max} \right) * iterasi \quad (8)$$

Dimana  $V$  adalah kecepatan *particle* dan  $X$  adalah posisi *particle*,  $i$  adalah iterasi,  $\theta$  adalah bobot inersia  $c_1$  dan  $c_2$  adalah *learning rates* dan  $r_1$  dan  $r_2$  adalah bilangan random dari 0 sampai 1. Setelah itu menentukan posisi partikel pada iterasi berikutnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (9)$$

Setelah posisi dan kecepatan diperbarui, akan dilakukan evaluasi nilai fungsi tujuan serta memperbarui *Pbest* dan *Gbest*. Perulangan dilakukan sampai solusi optimal. Pada gambar 2 menunjukkan diagram alir dari algoritma PSO.

Pada penelitian ini fungsi objektif (*objective function*) dan yang digunakan mengikuti persamaan (10).

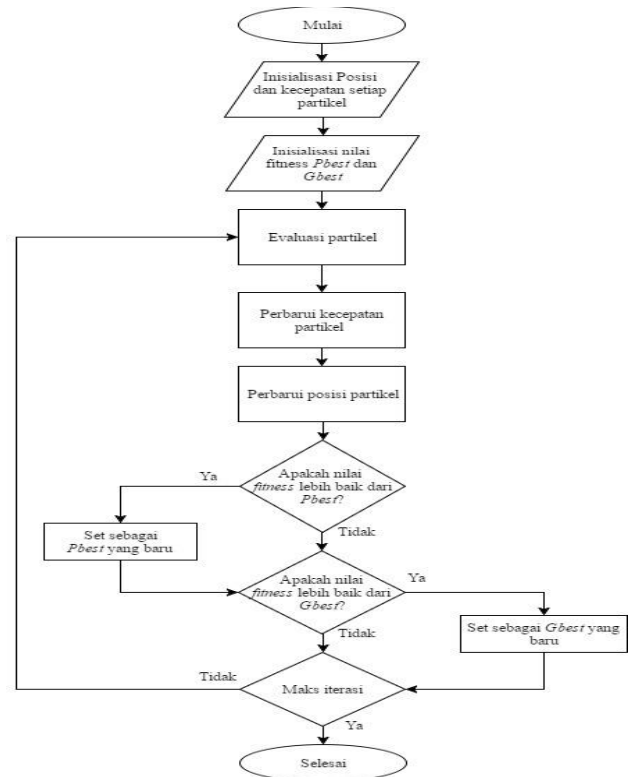
*Spherical function*

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad -100 \leq x_i \leq 100 \quad (10)$$

### C. Alokasi Daya Waterfilling

Teknik alokasi daya *waterfilling* adalah sebuah teknik yang bertujuan untuk mengalokasikan daya ke *user* yang prinsip kerjanya mengalokasikan daya terhadap *user* yang memiliki level *noise* tinggi atau level SNR yang rendah. Analogi dari cara kerja *waterfilling* adalah seperti menumpahkan sebuah air kedalam bejana yang berisi batu dengan ketinggian yang berbeda-beda. Air yang ditumpahkan diasumsikan sebagai daya yang akan dialokasikan oleh eNB, kemudian tinggi dari batu diumpamakan sebagai nilai CSI dari masing-masing *user* yang nilainya bervariasi. Ketika air ditumpahkan kedalam bejana tersebut, maka air akan terisi lebih banyak kedalam bejana yang berisi batu dengan tinggi yang rendah dan ketinggian air pada setiap bejana akan sama, artinya daya

dari eNB akan dialokasikan kepada *user* yang memiliki level SNR rendah atau level *noise* tinggi, begitupun sebaliknya sehingga daya yang dimiliki semua *user* akan sama [10][11]. Hasil dari algoritma *waterfilling* ialah berupa matriks hasil pengalokasian daya, dimana daya setiap *user* akan sama. Formulasi dari proses *waterfilling* adalah sebagai berikut :



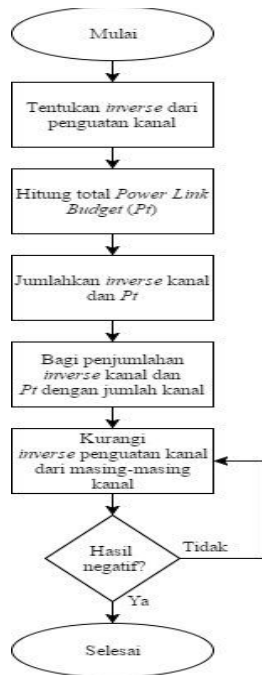
Gambar 2. Diagram alir algoritma PSO

$$P(n, v) = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \sum_{v=1}^V \frac{1}{H(n,v)}} P_t \quad (11)$$

Dimana  $P(n, v)$  adalah daya yang dialokasikan terhadap PRB ke- $v$  pada *user* ke- $n$ .  $P_t$  adalah daya yang diberikan oleh eNB dan  $H_{n,v}$  ialah kondisi kanal pada *user* ke- $n$  dan PRB ke- $v$ .

### III. HASIL DAN DISKUSI

Simulasi dilakukan pada sistem *downlink* LTE dengan menggunakan frekuensi *carrier* 1,8 GHz. Tabel 1 menampilkan beberapa parameter yang digunakan untuk simulasi.



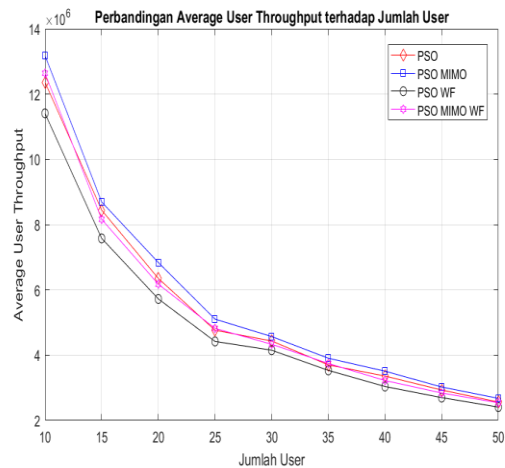
Gambar 2 Diagram Alir Waterfilling

Tabel 1 Parameter dalam simulasi terhadap sistem *downlink* LTE dengan menggunakan frekuensi *carrier* 1,8 GHz.

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth</i> sistem	5 MHz
Jumlah <i>resource block</i>	25
Jari-jari sel	0,5 Km
Layout sel	Sel tunggal
Frekuensi <i>carrier</i>	1,8 GHz
<i>Bandwidth resource block</i>	180 KHz
Model kanal dan kanal <i>fading</i>	COST 231 - Hata, Lognormal <i>shadowing</i> , kanal Rayleigh
Penguatan antenna eNB	18 dBi
Penguatan antenna UE	0 dBi
<i>Noise figure</i>	7 dB
Daya kirim eNodeB ( $P_T$ )	40 watt (46 dBm)
Rugi-rugi penetrasi	20 dB
Jumlah pengguna	10-50 dengan penambahan 5

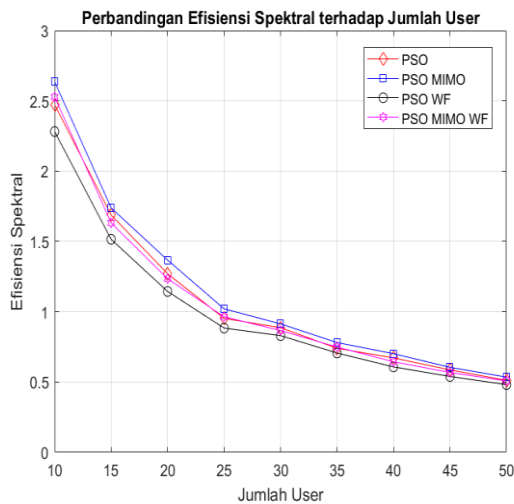
Simulasi dilakukan dalam empat skenario, yaitu skenario pengalokasian PRB menggunakan algoritma PSO tanpa antenna MIMO 2x2 dan alokasi daya *waterfilling*, algoritma PSO menggunakan antenna MIMO 2x2 tanpa alokasi daya *waterfilling*, dan algoritma PSO disertai antenna

MIMO 2x2 dan alokasi daya *waterfilling*. skenario tersebut dilakukan untuk mengamati kualitas layanan informasi dengan perubahan *user* yang bervariasi mulai dari 10 – 50 dengan kenaikan 5 dan PRB sejumlah 25.



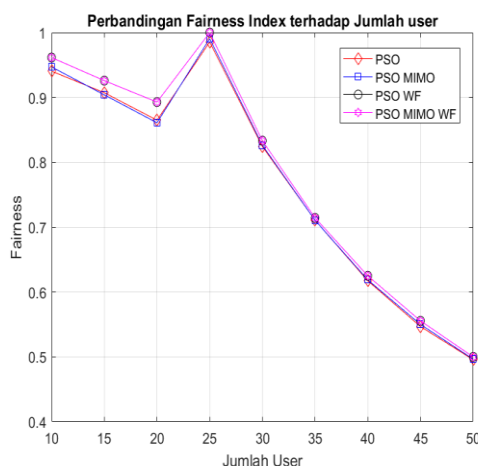
Gambar 3 Throughput user rata-rata terhadap perubahan user

Pada Gambar 2 menampilkan grafik antara parameter performansi jaringan, yaitu *throughput user* rata-rata dalam satuan MBps terhadap perubahan jumlah *user*. Terlihat pada grafik juga, semakin banyak jumlah *user* maka *throughput user* rata-rata semakin menurun, hal ini karena PRB yang dialokasikan hanya untuk satu *user*, tetapi satu *user* bisa mendapatkan lebih dari satu PRB. Jadi ketika, jumlah *user* lebih sedikit dari jumlah PRB, maka ada beberapa *user* yang terlokasi PRB lebih dari satu. Sebaliknya ketika jumlah *user* lebih banyak dari jumlah PRB, maka akan ada beberapa *user* yang tidak terlokasi PRB. Terlihat pada grafik tersebut skenario pengalokasian PRB yang menggunakan algoritma PSO disertai antenna MIMO 2x2 tanpa alokasi daya *waterfilling* memiliki *throughput user* rata-rata yang paling tinggi dibandingkan skenario lain. Hal ini karena optimasi yang baik dicapai ketika proses pengalokasian yang disertai penggunaan konfigurasi antenna MIMO 2x2, memiliki level daya untuk *user* yang lebih baik. Skenario yang mengalami performansi buruk ialah ketika pengalokasian PRB menggunakan algoritma PSO yang hanya menggunakan teknik alokasi daya *waterfilling*. Hal ini karena, skenario tersebut tidak mengalami optimasi *throughput* menggunakan antenna MIMO, dan teknik alokasi daya *waterfilling* bekerja dengan cara membuat daya yang dimiliki *user* sama rata, sehingga jika dibandingkan dengan yang tidak menggunakan teknik alokasi daya *waterfilling* akan memiliki level daya *user* yang lebih rendah dan hal tersebut menyebabkan nilai *throughput user* menurun.



Gambar 4 Efisiensi spektral terhadap perubahan user

Pada gambar 3 menampilkan grafik efisiensi spektral dalam satuan bps/Hz yang dipengaruhi oleh jumlah *user* yang meningkat. Terlihat pada gambar tersebut grafik mengalami penurunan yang sebanding dengan *throughput user* rata-rata ketika jumlah *user* bertambah. Hal ini karena nilai efisiensi spektral diperoleh dari hasil perhitungan *throughput user* rata-rata dibagi dengan *bandwidth* sistem, dimana *bandwidth* sistem dalam jumlah tetap karena jumlah PRB pun tetap. Sama seperti kondisi pada grafik *throughput user* rata-rata, skenario yang bekerja optimal dengan parameter performansi efisiensi spektral ialah pengalokasian PRB menggunakan antena MIMO 2x2 tanpa teknik alokasi daya *waterfilling*. Hal ini terjadi karena *waterfilling* menyebabkan level daya *user* menjadi sama rata, sehingga dapat menurunkan *throughput user* rata-rata termasuk efisiensi spektral.



Gambar 5 Fairness sistem terhadap perubahan user

Pada gambar 4 menunjukkan grafik *fairness* atau keadilan setiap *user* untuk dalam pengalokasian PRB dan perbandingannya terhadap jumlah *user* yang bertambah. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa nilai *fairness* mengalami fluktuatif, diawali dengan penurunan dari jumlah *user* 5 hingga 20, sedangkan pada jumlah *user* 25 nilai *fairness* meningkat. Perlu diketahui bahwa 1 PRB

dapat dialokasikan hanya untuk 1 *user*, tetapi 1 *user* dapat teralokasikan banyak PRB. Apabila mengambil sampel data dari grafik tersebut pada saat jumlah *user* 20 dan jumlah PRB sebanyak 25. Nilai *fairness* mengalami penurunan, karena ketika jumlah *user* adalah 20, dan jumlah PRB adalah 25, maka akan terdapat sisa 5 PRB, 5 PRB tersebut akan dialokasikan terhadap 5 *user*, sedangkan 15 *user* lainnya tidak mendapatkan PRB sisa itu sehingga menyebabkan nilai *fairness* turun. Sebaliknya ketika , jumlah *user* 25 dan jumlah PRB 25, dengan kondisi yang jumlahnya sama tersebut, maka semua *user* mendapatkan jumlah PRB yang sama sehingga nilai *fairness* mencapai kondisi maksimum.

Pada grafik nilai *fairness* di gambar 4, terlihat skenario yang bekerja dengan baik adalah pengalokasian PRB menggunakan algoritma PSO disertai dengan teknik alokasi daya *waterfilling*. kondisi tersebut berlaku baik itu menggunakan antena MIMO 2x2 ataupun tidak. Hal ini karena prinsip kerja *waterfilling* adalah mengalokasikan daya relative yang lebih besar terhadap *user* yang memiliki level SNR rendah, sehingga mendapatkan perlakuan yang sama antar *user* maka nilai *fairness* dapat meningkat.

#### IV. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dilakukan penelitian terhadap pengalokasian PRB sebagai sumber daya LTE menggunakan algoritma PSO pada arah *downlink* dengan menggunakan beberapa metode sebagai teknik untuk meningkatkan kualitas layanan informasi. Hasil simulasi yang telah dilakukan mendapatkan grafik yang menginterpretasikan parameter performansi terhadap perubahan jumlah *user* pada masing-masing skenario yang dilakukan. Pengaruh jumlah *user* yang semakin banyak tentu akan menghasilkan performansi yang relatif menurun, karena keterbatasan PRB yang disediakan tidak cukup untuk dialokasikan kepada semua *user* yang melebihi jumlah PRB. Parameter performansi *throughput user* rata-rata dan efisiensi spektral mencapai nilai optimum ketika jumlah *user* yang sedikit, dan *fairness* mencapai nilai optimum ketika jumlah *user* merupakan kelipatan dari jumlah PRB. Empat skenario telah dilakukan dan memberikan hasil penggabungan metode-metode yang dapat memberikan performansi yang baik. Untuk memperoleh parameter performansi *average user* rata-rata dan efisiensi spektral yang optimum, skenario terbaik adalah pada penggunaan algoritma PSO untuk pengalokasian PRB dan menggunakan antena MIMO 2x2 tanpa disertai teknik alokasi daya *waterfilling*. Untuk memperoleh parameter performansi *fairness* sistem yang optimum, skenario yang digunakan adalah pada penggunaan algoritma PSO untuk pengalokasian PRB dan teknik alokasi daya *waterfilling*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih atas bantuan serta dukungan dari Universitas Telkom yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menyelesaikan penelitian ini, hal tersebut menjadi motivasi untuk kedepannya agar bisa memberikan kontribusi yang lebih baik lagi dalam melakukan

pengembangan penelitian khususnya di bidang informasi dan telekomunikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ergen, *Mobile Broadband : Including Wimax and LTE*, USA: Springer, 2009.
- [2] Gheitanchi, Shahin, et al. 2007. "Particle Swarm Optimization for Resource Allocation in OFDMA," International Conference on Digital Signal Processing.
- [3] Lye, Scott Carr Ken, et al. 2013. "Particle Swarm Optimization Based Resource Allocation in Orthogonal Frequency-division Multiplexing," Malaysia : Universitas Malaysia Sabah
- [4] Lin Su, Ping Wang\*,Fuqiang Liu. Tongji University, "Particle Swarm Optimization Based Resource Block Allocation Algorithm for Downlink LTE Systems,"2012.
- [5] S. M. Sari, A. Fahmi, and B. Syihabuddin, "Algoritma Pengalokasian Resource Block Berbasis QoS Guaranteed Menggunakan Antena MIMO 2x2 pada Sistem LTE untuk Meningkatkan Spectral Efficiency," *Semnasteknomedia*, 2015
- [6] Simon R. Saunders, Alejandro A. Zavala: United Kingdom ; John Wiley & Sons., "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems", British Library Cataloguing in Publication Data, 2017.
- [7] S. Ranvier, "Path Loss Models – Physical layer methods in wireless communication systems", Helsinki University of Technology, 2004.
- [8] Budi Santosa, ITS, "Tutorial Particle Swarm Optimization".
- [9] Jianbo Du, Liqiang Zhao, Jie Xin, Jen-Ming Wu, and Jie Zeng "Using Joint Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm for Resource Allocation in TD-LTE Systems," 2015
- [10] A. F. Molish, *Wireless Communications*, California, 2011.
- [11] V. S. Prabowo, *Radio Resources Allocation Based-on Energy Saving for LTE-Advanced System*, Bandung, 2016.
- [12] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.