

# **Pengaruh Jumlah Partikel pada Algoritma *Particle Swarm Optimization* terhadap Performansi Pengalokasian Sumber Daya LTE pada Sistem MIMO-OFDM 2x2**

**Mikael Nicolaus Ramos S. S.<sup>1</sup>, Arfianto Fahmi<sup>2</sup>, Afief Dias Pambudi<sup>3</sup>**

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi No.1 Bojongsoang, Bandung

<sup>1</sup>Mikaelramos69@gmail.com, <sup>2</sup>Arfianto.fahmi@gmail.com, <sup>3</sup>Afiefdiaspambudi@gmail.com

## **ABSTRAK**

Pada Teknologi *Long Term Evolution* (LTE), *Third Generation Partnership Project* (3GPP) menulis teknologi ini yang merupakan teknologi komunikasi akses data nirkabel yang memiliki laju data minimal 100 Mbps untuk arah downlink. Oleh karena itu teknologi ini menjanjikan kecepatan layanan informasi jauh lebih cepat dari teknologi sebelumnya. Namun dalam perkembangannya standar yang telah ditetapkan belum tercapai. Salah satu hal yang menjadi masalah yang masih harus dioptimalkan adalah algoritma untuk pengalokasian *resource block* (RB). Metode pengalokasian RB telah dilakukan dalam beberapa riset. Dalam perkembangannya ada beberapa algoritma dasar yang digunakan seperti Round Robin, namun algoritma dasar tersebut masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut, karena belum bisa menjamin Quality of Services (QoS) yang diharapkan. Selain algoritma dasar ada beberapa algoritma lain yang digunakan untuk metode pengalokasian RB. Dalam paper ini Algoritma yang digunakan adalah algoritma *particle swarm optimization* (PSO) yang berdasarkan perpindahan posisi partikel. Algoritma ini memiliki beberapa parameter yang dapat mempengaruhi performansi dari algoritma ini. Pada paper ini, membahas pengaruh perubahan parameter terhadap parameter performansi dari pengalokasian *resource block*. Hasil simulasi dari skema yang diusulkan, nilai *throughput* dan *fairness* pengalokasian *resource block* menggunakan algoritma PSO lebih tinggi jika dibandingkan dengan algoritma Round Robin.

## **Kata Kunci**

*Abstrak : Particle Swarm Optimization, Multiple Input Multiple Output (MIMO), Equal power allocation.*

## **PENDAHULUAN**

Komunikasi seluler mengalami perkembangan yang sangat cepat. *Third Generation Partnership Project* (3GPP) telah mengenalkan LTE (*Long Term Evolution*) untuk memenuhi perkembangan komunikasi seluler. LTE merupakan komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi dengan laju data yang tinggi. LTE menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sebagai teknik modulasi dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) sebagai teknik *multiple access* pada arah downlink. Menurut 3GPP release 8 [1], LTE memiliki laju data 100 Mbps untuk arah downlink, namun dalam perkembangannya laju data ini belum dapat tercapai karena beberapa hal. Salah satu hal yang masih perlu dikembangkan adalah alokasi *resource block*. Maka dalam praktiknya dibutuhkan suatu

algoritma untuk melakukan alokasi *resource block* itu. Metode pengalokasian *resource block* telah dilakukan dalam beberapa riset. Dalam perkembangannya ada beberapa algoritma dasar yang digunakan seperti Round Robin dan *proportional fair*, namun algoritma dasar tersebut masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut, karena belum bisa menjamin QoS yang diharapkan. Selain algoritma dasar ada beberapa algoritma lain yang digunakan untuk metode pengalokasian *resource block*. Pada [2] juga menjelaskan Algoritma Genetika. Algoritma genetika menggunakan teknik yang terinspirasi oleh biologi evolusioner seperti warisan, mutasi, seleksi alam dan rekombinasi. Algoritma ini memiliki ciri memiliki kecepatan yang lambat. Pada [3] telah dilakukan penelitian mengenai Algoritma PSO namun pada penelitian tersebut

tidak menggunakan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).

Pada penelitian inidilakukan proses simulasi pengalokasian *resource block* kepada user pada arah *downlink* menggunakan algoritmaPSO berdasarkan [4] dengan menggunakan konfigurasi antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 2x2. Sebelum melakukan pengalokasian, dilakukan proses *selective combining* untuk mengetahui jalur terbaik yang digunakan. Setelah itu, dilakukan pengalokasian menggunakan Algoritma ini. Hasil simulasi dari algoritma ini yang diharapkan mempunyai nilai *throughput* dan *fairness* yang didapat memenuhi standar LTE

Algoritma PSO yang diusulkan diamati performansinya pada dua skenario pengujian yaitu: skenario perubahanjumlah populasi terhadap pertambahan jumlah pengguna, perubahan jumlah populasi terhadap perubahan jumlah RB. Parameter performansi yang dianalisis dalam *Paper* ini adalah *throughput* pada tiap pengguna dan *fairness*. Penelitian ini selanjutnya terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut: Metodologi penelitian, Model Sistem, Hasil simulasi dan analisis dan Kesimpulan dan saran.

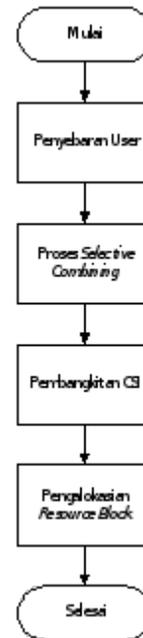
#### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah penelitian yang ada. Identifikasi masalah dilakukan dengan menggunakan studi literature yang diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan masalah penelitian ini. Pada penelitian sebelumnya, algoritma PSO belum diterapkan dalam konfigurasi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dan skenario yang digunakan hanya terdapat perbandingan antara perubahan user dengan parameter performansi, oleh karena itu pada paper ini dilakukan desain skema *equal power allocation* dan algoritma PSO dengan konfigurasi MIMO 2x2. Skema *selective combining* pada MIMO 2x2 terlebih dahulu dieksekusi dan dilanjutkan dengan skema *equal power allocation*, kemudian algoritma PSO dieksekusi untuk mengalokasikan RB. Selanjutnya dilakukan pengujian model pemecahan masalah menggunakan simulasi Komputer dan validasi penelitian. Setelah itu dilakukan pengumpulan dan analisis data, dimana data yang digunakan merupakan data primer kuantitatif dari hasil percobaan simulasi. Pengumpulan dan pengklasifikasian data hasil percobaan mengacu pada skenario yang dibuat untuk mengetahui kaitan antara variabel

pengamatan dengan parameter kinerja yang diamati yaitu *throughput* pengguna dan keadilan sistem. Pada akhirnya, dari data hasil percobaan disimpulkan skema alokasi yang paling baik berdasarkan parameter kinerja yang diamati.

#### MODEL SISTEM

Sistem pada penelitian ini dimodelkan dengan sebuah sel tunggal yang tidak memiliki interferensi dari sel tetangga dan memiliki satu eNodeB. Beberapa penggunayang dilayani oleh eNodeB tersebar secara acak pada cakupan sel. Dengan frekuensi pembawa sebesar 900MHz. Penyebaran pengguna secara acak namun terdapat batas minimum dan batas maksimum pengguna terhadap eNodeB. Sistem ini menggunakan antenna MIMO 2x2, dimana masing-masing ada dua antenna pada sisi pengirim dan penerima. Berikut merupakan diagram alir model sistem yang digunakan :



Gambar 1. Diagram Alir Model Sistem

Pada penelitian ini, eNodeB yang mengalokasikan RB dan daya kepada *pengguna* menerima informasi masukan berupa hasil pengukuran kualitas kanal pada setiap

pengguna yang berbentuk sebuah matriks *Channel State Information (CSI)*. Daya dialokasikan terlebih dahulu menggunakan skema *equal power allocation*, dimana daya dialokasikan sama rata pada masing-masing RB. Misalkan pada sistem terdapat  $V$  buah RB dan  $N$  pengguna yang dilayani oleh eNodeB tersebut. Daya yang dialokasikan kepada masing-masing RB sebesar [4]:

$$P(v) = P(t) / V$$

Dimana  $v \in (1, 2, 3, \dots, V)$ ,  $P(t)$  adalah daya total sistem dan  $V$  merupakan jumlah RB total. Kemudian, Daya  $P(v)$  digunakan untuk menghitung *signal to noise ratio (SNR)* yang merupakan bagian dari matriks CSI. Untuk mendapatkan SNR masing-masing  $N$  pengguna di tiap  $V$  RB digunakan persamaan (2) [4]:

$$SNR_{(n,v)} = P(v) \times H_{(n,v)} \quad (2)$$

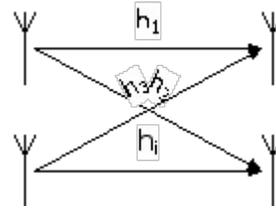
Dimana  $H_{(n,v)}$  adalah kualitas kanal pengguna  $n$  pada *resource block*  $v$  pada *timeslot*  $s$ . Kondisi kanal  $H_{(n,v)}$  adalah perbandingan antara penguatan kanal dengan perhitungan rugi-rugi yang dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$H_{(n,v)} = \frac{G_{Tx} \times G_{Rx}}{PL \times LossPe \times S \times p_{rayl} \times k \times T \times B \times NF} \quad (3)$$

Dimana  $G_{Tx}$  merupakan Penguatan pada antenna eNodeB,  $G_{Rx}$  adalah Penguatan antenna pengguna,  $PL$  adalah rugi-rugi propagasi yang dimodelkan dengan *spatial channel model*,  $LossPe$  adalah Rugi-rugi akibat penetrasi pengguna,  $S$  merupakan rugi-rugi akibat Lognormal *shadowing*,

$p_{rayl}$  adalah Rugi-rugi kanal Rayleigh,  $k$  adalah Konstanta Boltzman yang ( $1,381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ),  $T$  merupakan Suhu sistem,  $B$  adalah *Bandwidth* RB, dan  $NF$  adalah *Noise Figure*.

Pada penelitian ini menggunakan konfigurasi antenna MIMO 2x2 seperti gambar 2



Gambar 2. Konfigurasi Antena MIMO 2x2 [4]

Dari gambar 2, dapat dilihat bahwa ketika sistem menggunakan konfigurasi antenna MIMO 2x2, maka terdapat empat path yang dapat digunakan oleh pengguna. Setiap path memiliki kondisi kanal yang berbeda-beda. Kondisi kanal pada masing-masing jalur dapat didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$H = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Dari masing-masing jalur tersebut dilakukan proses *selective combining*, yaitu memilih satu dari empat jalur dengan kondisi kanal terbaik yang digunakan untuk transmisi data. *Path* terbaik merupakan jalur dengan kualitas kanal tertinggi dari jalur ke- $i$  pada pengguna ke- $n$  dan RB ke- $v$ :

$$H_{N,v} = \max(h_i), \text{ dimana } i = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

Proses *selective combining* akan menghasilkan satu matriks CSI ( $H$ ) berukuran  $N \times V$  yang terdiri dari nilai tertinggi atau kondisi kanal terbaik dari masing-masing *path*. Matriks CSI ini digunakan untuk melakukan proses pengalokasian RB kepada pengguna.

#### Alokasi resource block

Pada penelitian ini dilakukan pengalokasian RB dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*. Pada proses pengalokasian RB, satu RB hanya dapat dialokasikan untuk satu pengguna sedangkan satu pengguna dapat menggunakan lebih dari satu RB.

**Algoritma Particle Swarm Optimization[5]**

Algoritma *Particle Swarm Optimization* merupakan suatu algoritma yang umumnya digunakan untuk menentukan sebuah nilai yang optimum pada suatu persamaan, sehingga diperlukan suatu modifikasi terhadap algoritma ini. Algoritma PSO dapat dianalogikan dengan sekelompok burung yang secara acak mencari tempat makanan terbaik disuatu area. Di area tersebut terdapat beberapa tempat makanan terbaik yang akan dicari, seluruh burung tidak mengetahui dimana tempat makanan tersebut, tetapi mereka mengetahui jarak makanan tersebut di setiap iterasi. Jadi, strategi yang efektif adalah mengikuti burung yang lebih dekat dengan makanan terbaik itu. Modifikasi yang dilakukan adalah setiap iterasi didapat solusi terbaik yang berbeda mengenai posisi terbaik burung dengan jumlah iterasi sama dengan jumlah UE, sehingga pada akhir proses komputasi PSO didapatkan beberapa solusi terbaik sesuai dengan jumlah UE yang merupakan hasil pengalokasian UE terhadap PRB.

Proses algoritma PSO dimulai dengan mengamsuksikan ukuran kelompok atau jumlah partikel ( $N_{Pop}$ ), Kecepatan ( $V$ ) dan posisi ( $X$ ) awal pada tiap partikel dalam  $N$  dimensi ditentukan secara acak. lalu Nilai fitness setiap partikel ditaksir menurut fungsi sasaran (*objectivefunction*) yang ditetapkan. Jika nilai fitness setiap partikel pada lokasi saat ini lebih baik dari Pbest dan Gbest, maka Pbest dan Gbest diatur untuk posisi saat ini kemudian Menghitung Kecepatan pada iterasi berikutnya dengan Persamaan sebagai berikut [5]:

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

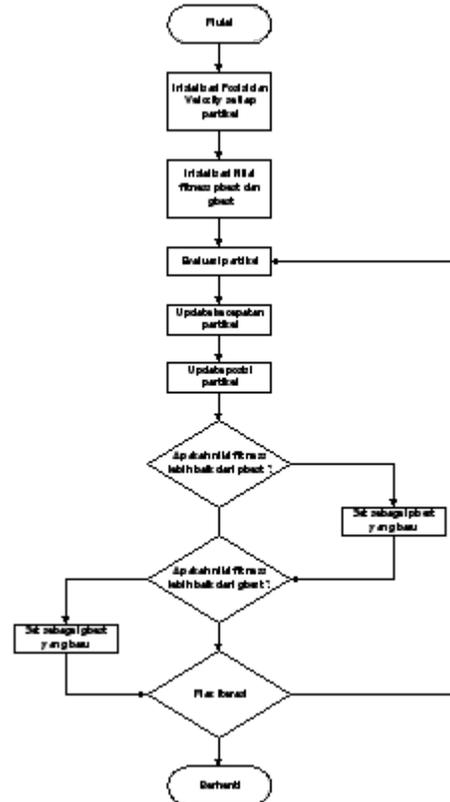
Dengan,

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

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

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

Mengevaluasi kembali nilai fungsi tujuan serta mengupdate Pbest dan Gbest. Iterasi dilakukan sampai solusi optimal bila belum optimal dilakukan pengulangan. Berikut merupakan diagram alir dari algoritma PSO yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3. Diagram alir algoritma PSO

Algoritma PSO merupakan algoritma optimasi yang populer. Dalam algoritma optimasi, digunakan sebuah fungsi sebagai pembatas dan fungsi objektif. Dalam perkembangannya, terdapat beberapa fungsi objektif yang sering digunakan untuk berbagai penelitian. Dalam penelitian ini, fungsi objektif dan fungsi pembatas yang digunakan sebagai berikut:

*Spherical function*

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

Fungsi sphere merupakan fungsi unimodal yang tidak memiliki *local minima* sehingga solusi yang dihasilkan lebih global jika dibandingkan dengan

fungsi dengan multimodal. Fungsi sphere memiliki sifat konvergensi yang lebih cepat jika dibandingkan dengan fungsi objektif yang biasa digunakan [2]. Fungsi objektif dengan konvergensi yang lebih cepat baik jika digunakan pada permasalahan resource block.

### HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

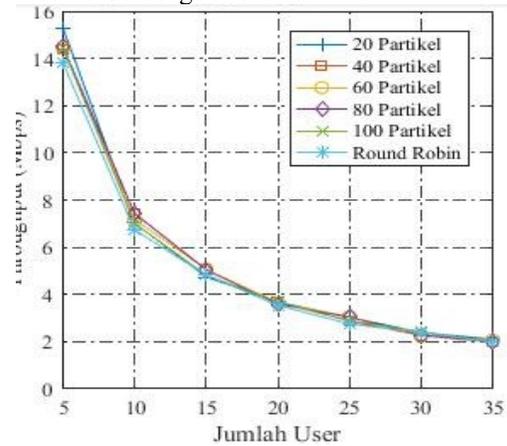
Simulasi dilakukan pada sistem *downlink* LTE dengan frekuensi *carrier* sebesar 900 MHz. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

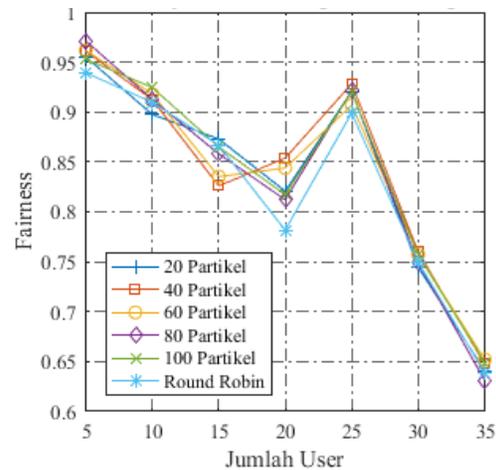
Parameter	Nilai
Bandwidth sistem	5 MHz
Jumlah resource block(RB) per TTI	25
Jumlah TTI	100 TTI
Jari-jari sel ( $r$ )	250 m
Layout sel	Sel tunggal
Frekuensi <i>carrier</i>	900 MHz
BandwidthRB	180 kHz
Model propagasi dan Kanal <i>fading</i>	<i>Spatial Channel Model</i> , Lognormal <i>shadowing</i> , kanal Rayleigh [7]
Penguatanantena eNodeB	18 dBi
Penguatanantena Pengguna	0 dBi
Noise figure	7 dB
Daya kirim eNodeB ( $P_T$ )	40 watt (46 dBm)
Rugi-rugi penetrasi	20 dB
Jumlah pengguna	5-35 dengan pertambahan 5

Simulasi dilakukan dalam dua skenario percobaan, yaitu skenario perubahan jumlah populasi terhadap perubahan jumlah user, skenario perubahan jumlah RB terhadap Jumlah user untuk melihat *throughput* tiap penggunadan keadilan sistem Skenario perubahan jumlah populasi dilakukan dengan jumlah populasi 20 – 100 dengan kenaikan 20. Masing-masing jumlah populasi di uji dengan jumlah pengguna yang bervariasi mulai dari 5 – 35 dengan kenaikan lima, dan jumlah RB

25. Skenario perubahan jumlah RB dilakukan pada jarak 250 m, jumlah pengguna 25 dan jumlah RB dari 5-35 dengan kenaikan lima.



Gambar 4. Throughput pengguna skenario variasi jumlah populasi terhadap perubahan pengguna

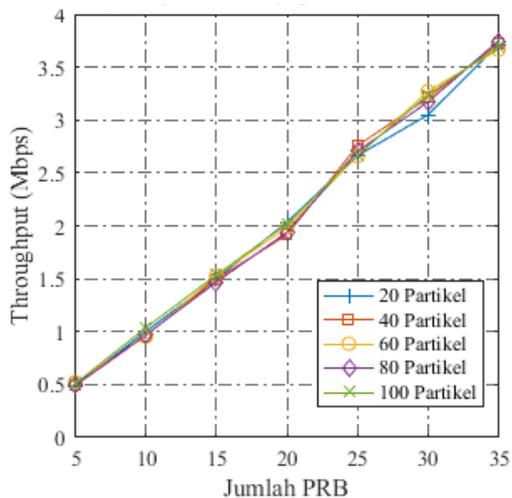


Gambar 5. Keadilan sistem skenario variasi jumlah populasi terhadap perubahan pengguna

Pada skenario perubahan jumlah populasi terhadap perubahan pengguna, dapat dilihat dari grafik parameter *throughput* tiap penggunaturun seiring bertambahnya jumlah pengguna dengan Penurunan rata-rata untuk *throughput* sebesar 2197450 bps, sedangkan nilai fairness turun dari 5-20 dan naik saat jumlah pengguna 25 Hal ini terjadi karena algoritma *Particle Swarm Optimization* memberikan satu RB kepada satu pengguna dan memungkinkan satu pengguna mendapatkan lebih dari satu RB jika jumlah RB melebihi jumlah pengguna. Pada saat satu pengguna mendapatkan lebih dari satu RB maka *throughput* pengguna semakin membaik, namun fairness tidak seperti parameter *throughput* karena

ketika jumlah RB lebih besar dari jumlah pengguna terdapat pengguna yang mendapatkan lebih dari satu RB dan sisanya mendapatkan satu RB maka dari itu keadilan sistem baik ketika setiap pengguna mendapatkan jumlah RB yang sama seperti ketika jumlah user 5 dan 25.

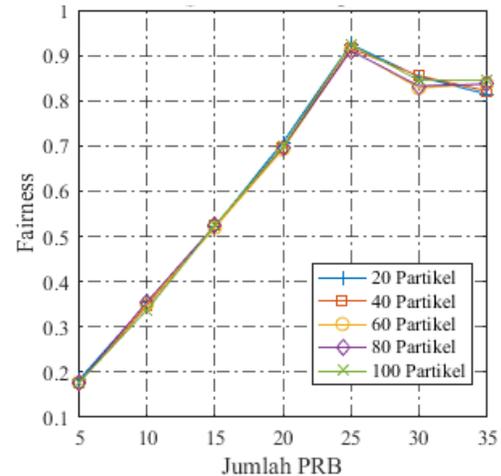
Dari grafik dapat dilihat bahwa performansi rata-rata untuk semua jumlah PSO lebih baik dari performansi algoritma *round robin*. Pada jumlah lima user, jumlah partikel yang memiliki nilai *throughput* tertinggi adalah algoritma PSO 20, namun dengan seiring pertambahan jumlah user algoritma PSO 100 mendapatkan nilai *throughput* tertinggi. Hal ini terjadi karena ketika jumlah user sedikit jumlah partikel yang dibutuhkan lebih sedikit karena pada penelitian ini jumlah partikel adalah jumlah solusi untuk pengalokasian RB. Pada grafik dapat dilihat juga bahwa performa algoritma PSO lebih baik ketika sistem dalam keadaan normal, yaitu pada saat jumlah user tidak lebih banyak dari jumlah PRB.



Gambar 6. *Throughput* pengguna skenario variasi jumlah populasi terhadap jumlah RB

Skenario pertama dan skenario kedua saling berhubungan namun dalam skenario kedua simulasi dilakukan dengan jumlah user sebagai variabel tetap dan jumlah PRB bervariasi. Hasil simulasi skenario pertama diperkuat dengan hasil skenario kedua ini. Pada skenario ini, terlihat dalam grafik nilai *throughput* pengguna mengalami kenaikan dan *fairness* sistem memiliki nilai tertinggi ketika jumlah PRB sama dengan jumlah user yaitu 25. Kenaikan rata-rata *throughput* pengguna sebesar 537071.66 bps. Skenario ini memperkuat bahwa ketika pengguna mendapatkan

PRB lebih dari satu nilai *throughput* yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan sistem dimana jumlah PRB lebih kecil dari jumlah pengguna dengan bertambahnya sumber daya yang dialokasikan pada suatu sistem maka kesempatan pengguna untuk mendapatkan RB semakin besar dan hal ini memperbaiki performansi sistem.



Gambar 7. Keadilan sistem variasi jumlah RB

Pada skenario perubahan jumlah partikel terhadap perubahan jumlah PRB ini. Pada grafik terlihat, ketika jumlah PRB sedikit atau kurang dari 20 nilai rata-rata *throughput* tertinggi adalah ketika menggunakan 20 Partikel, sedangkan ketika jumlah PRB lebih dari 20, performansi dari PSO 20 berkurang, dan performansi dari PSO dengan jumlah partikel lebih dari 20 lebih baik dibandingkan dengan PSO 20.

Pada proses komputasi untuk algoritma PSO, jumlah partikel yang terdapat dalam sistem waktu komputasi yang dibutuhkan. Jumlah partikel yang lebih banyak akan mengakibatkan waktu yang dibutuhkan untuk proses komputasi lebih lama jika dibandingkan dengan jumlah partikel yang lebih sedikit.

Pada proses pengalokasian RB, waktu komputasi untuk algoritma round robin hanya dipengaruhi oleh jumlah RB dan pengguna, sedangkan untuk algoritma PSO dipengaruhi oleh jumlah RB, pengguna, dan partikel oleh karena itu waktu komputasi lebih lama dibandingkan dengan algoritma round robin.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Paper initalah diaplikasikan Algoritma *Particle Swarm Optimization* untuk pengalokasian RB pada arah downlink dengan

Skema pengalokasian daya *equal power allocation*. Hasil Simulasi menyatakan bahwa algoritma PSO pada penelitian ini dapat mencapai *throughput* pengguna dan keadilan sistem yang lebih baik jika dibandingkan dengan algoritma round robin. Dengan bertambahnya pengguna dalam satu sel mengurangi *Throughput* dari setiap pengguna.

Dari semua skenario yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa skenario perubahan jumlah pengguna dan jumlah RB saling berhubungan dalam hal melihat performansi sistem jika jumlah sumber daya LTE bertambah, maka *Throughput* pengguna bertambah, sedangkan nilai fairness terjadi saat semua pengguna mendapatkan jumlah PRB yang sama. Untuk pengalokasian RB, jumlah partikel harus lebih besar atau sama dengan jumlah user dan jumlah PRB agar performansi dari algoritma PSO untuk pengalokasian RB tetap stabil.

Performa algoritma PSO pada keadaan jumlah user lebih sedikit dari jumlah PRB lebih baik jika dibandingkan ketika jumlah user lebih banyak daripada jumlah PRB. Oleh karena itu algoritma PSO tidak baik ketika digunakan pada kondisi yang padat, namun algoritma PSO memiliki waktu komputasi yang lebih lama jika dibandingkan dengan algoritma round robin karena dipengaruhi oleh jumlah partikel yang digunakan dalam sistem.

Dibutuhkan penelitian yang lebih lanjut mengenai skema pengalokasian daya yang lain dan pengaruhnya terhadap performansi sistem, dengan jumlah partikel yang lebih bervariasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ergen, *Mobile Broadband Including Wimax and LTE*, USA: Springer, 2009.
- [2] 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
- [3] Lin Su, Ping Wang\*, Fuqiang Liu. Tongji University, "Particle Swarm Optimization Based Resource Block Allocation Algorithm for Downlink LTE Systems," 2012.
- [4] 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
- [5] Budi Santosa, ITS, "Tutorial Particle Swarm Optimization".
- [6] Andreas F. Molisch, *Wireless*

*Communications*, 2nd ed. California, USA: Wiley, 2011.

- [7] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communication Principle and Practice*, 2nd ed., Michelle Vincenti, Ed. New Jersey, United State of America: Prentice-Hall, Inc, 2002

