

# ANALISIS ALOKASI KANAL DINAMIS PADA KOMUNIKASI SELULER DENGAN ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

**Bevan Thomas Sittar, Rahmad Fauzi**  
Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)  
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA  
e-mail: [bevan.thomas.sittar@students.usu.ac.id](mailto:bevan.thomas.sittar@students.usu.ac.id) or [bevannistelroy@yahoo.co.id](mailto:bevannistelroy@yahoo.co.id)

## Abstrak

Saat ini perkembangan teknologi telekomunikasi semakin pesat, pengguna telepon seluler semakin bertambah meningkat. Pada waktu tertentu permintaan kanal akan maksimal bahkan melebihi kapasitas saluran yang tersedia, hal tersebut dapat mengakibatkan banyak panggilan tidak dapat dilayani atau diblok. Tingkat kegagalan pada nilai tertentu masih dapat diterima, namun selebihnya diperlukan solusi pemecahan akan masalah tersebut, salah satunya adalah pengoptimalan kanal. Tulisan ini membahas optimasi pengalokasian kanal dinamis pada GSM dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* sebagai metode penyelesaiannya. Metode algoritma ini menggunakan sekumpulan partikel yang bekerjasama, dimana masing-masing partikel merepresentasikan satu kandidat solusi untuk mengeksplorasi solusi-solusi yang memungkinkan bagi permasalahan optimasi. Hasil simulasi dengan jumlah kanal yang tersedia sebesar 64 kanal diperoleh nilai probabilitas *blocking* rata-rata dari metode *Frequency Exhaustive Assigmnnet* (FEA) sebesar 32.75% dan dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebesar 17.38%.

**Kata kunci :** Alokasi kanal dinamis, *channel assignment problem*, *Particle Swarm Optimization*, *adjacent channel*, *co-channel*

## 1. Pendahuluan

Bertambahnya pengguna sistem komunikasi seluler tidak berbanding lurus dengan jumlah kanal yang tersedia, karena dalam sistem komunikasi seluler terdapat keterbatasan *bandwidth* kanal yang mengakibatkan banyak panggilan tidak dapat dilayani. Dari keterbatasan tersebut diperlukan upaya untuk mengatasi keterbatasan kanal dengan pengalokasian kanal yang tepat untuk dapat mengoptimalkan kapasitas penggunaan kanal dan meminimalkan jumlah panggilan yang ditolak dengan tetap mempertahankan kualitas sinyal yang baik. Banyak hal telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan kanal tersebut diantaranya dengan membuat strategi alokasi kanal.

Ada beberapa beberapa jenis alokasi kanal diantaranya : *Fixed Channel Assignment* (FCA), *Dinamic Channel Assignment* (DCA) dan *Hybrid Channel Assignment* (HCA). Dari masalah tersebut diperlukan metode atau algoritma untuk dapat mengoptimalkan pengalokasian kanal pada sistem komunikasi seluler, diantaranya: *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, *Particle Swarm Optimization*.

*Particle Swarm Optimization* adalah teknik optimasi berbasis populasi yang terinspirasi dari perilaku sekawanan burung atau ikan. Metode ini menggunakan sekumpulan partikel yang bekerjasama, dimana masing-masing partikel merepresentasikan satu kandidat solusi untuk mengeksplorasi solusi-solusi yang memungkinkan bagi permasalahan optimasi[1]. Penulis tertarik untuk menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mengoptimasi pengalokasian kanal secara dinamis pada komunikasi seluler.

## 2. *Channel Assignment* Pada Sistem Komunikasi Seluler

### 2.1 Sistem Komunikasi Seluler

Sistem komunikasi seluler adalah sistem komunikasi yang digunakan untuk memberikan layanan jasa telekomunikasi bagi pelanggan bergerak. Sistem komunikasi seluler dapat melayani banyak pengguna pada cakupan area geografis yang cukup luas dalam frekuensi yang terbatas.

Komunikasi seluler dikatakan sistem seluler karena daerah layanannya dibagi menjadi daerah-daerah kecil yang disebut sel. Setiap sel mempunyai daerah cakupannya masing-masing

dan beroperasi secara khusus. Jumlah sel pada suatu daerah geografis adalah berdasarkan pada jumlah pelanggan yang beroperasi di daerah tersebut.

Bentuk sel yang terdapat pada sistem komunikasi bergerak selular digambarkan dengan bentuk hexagonal karena semua daerah dapat dicakup tanpa adanya gap sel satu dengan yang lain[2].

**2.2 Prinsip Kerja Channel Assignment**

Strategi penempatan kanal yang telah dikembangkan untuk memenuhi tujuan mengurangi panggilan yang ditolak dan meminimalkan interferensi, dapat dikelompokkan menjadi *fixed* atau *dinamic*.

Channel assignment dapat dibagi menjadi *Fixed Channel Allocation* (FCA) dan *Dynamic Channel Allocation* (DCA).

**a. Fixed Channel Allocation (FCA)**

*Fixed channel allocation* merupakan teknik pengalokasian kanal dimana pada setiap sel dialokasikan secara tetap. Karena setiap sel dialokasikan secara tetap maka dalam sistem ini diperlukan *management* kanal yang tetap. Bila seluruh kanal terduduki maka sel akan diblok dan kadang digunakan strategi peminjaman kanal dari sel tetangga [3].

**b. Dynamic Channel Allocation (DCA)**

*Dynamic channel allocation* merupakan teknik yang tidak ada kanal yang dialokasikan secara tetap di dalam sel. Konsep dasar dari strategi DCA adalah bila beban trafik tidak merata dalam tiap sel maka pemberian kanal frekuensi pada tiap sel akan sering tidak terpakai dalam sel yang kurang padat, dan terjadi *blocking* pada sel dengan beban trafik padat. Teknik DCA dapat mengalokasi kanal frekuensi bila hanya beban trafik meningkat dan melepaskan kanal frekuensi bila beban trafik menurun [3].

**2.3 Perumusan Channel Assignment Problem**

Permasalahan *channel assignment* (CAP) muncul dalam jaringan telepon seluler yakni rentang frekuensi diskrit dengan spektrum frekuensi radio tersedia yang disebut sebagai kanal, diperlukan untuk dialokasikan ke daerah lain guna meminimumkan bentangan frekuensi total, tergantung pada permintaan (*demand*) dan

pembatas bebas interferensi (*interference-free constraint*).

Umumnya, penugasan kanal harus memiliki beberapa batasan *electromagnetic compatibility* (EMC), yang ditentukan melalui jarak minimum dimana dua kanal harus dipisahkan agar rasio S/I diterima kuat dalam wilayah yang salurannya telah ditugaskan. Hal tersebut dapat ditunjukkan melalui matrik N x N yang disebut matriks C.

Ada tiga jenis kendala (*constraint*) dalam penugasan kanal, yaitu [4][5] :

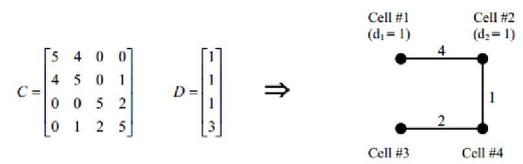
- a. *Cochannel Constraint* (CCC) -  $c_{ij}$  dengan nilai = 1 atau 0
- b. *Adjacent Channel Constraint* (ACC) -  $c_{ij}$  dengan nilai = 2
- c. *Cosite Constraint* (CSC) -  $c_{ii}$  dengan nilai =  $\alpha$ . Nilainya tergantung pada standar komunikasi yang digunakan. Pada umumnya nilai  $\alpha$  dimulai dengan 5.

Dari ketiga hal tersebut dapat dihitung jumlah kanal minimum yang dapat disediakan untuk penugasan kanal, dengan rumus [4]:

$$\text{Kanal minimum yang dibutuhkan} = (C_{ii}(d_i-1)+1) \quad (1)$$

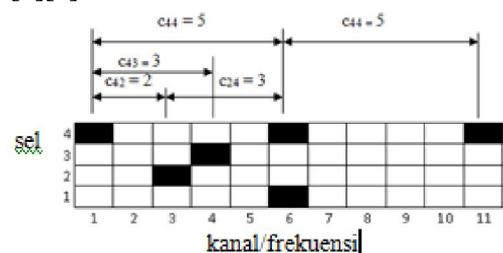
dimana:  $c_{ii}$ =nilai maksimum CSC pada matrik C  
 $d_i$  = nilai maksimum *demand* tertinggi)

Ilustrasi pada Gambar 1 menunjukkan strategi *Channel Assignment Problem* (CAP).



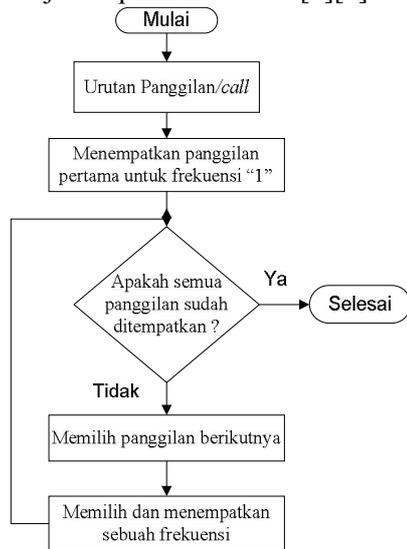
Gambar 1 Matrik dan Bentuk Layout Sel

Dari Gambar 1 dapat diperoleh jumlah kanal/frekuensi minimum yang di butuhkan dengan melihat matrik *demand* dimana  $c_{ii} = 5$ ,  $d_i = 3$ . Maka dapat dihitung jumlah kanal minimum,  $(5 \times (3-1) + 1) = 11$  kanal. Gambar 2 adalah cara penentuan letak kanal pada tiap-tiap sel [4][5].



Gambar 2 Strategi *Frequency Exhaustive Assignment*

Berikut *flowchart* struktur dasar untuk strategi *Frequency Exhaustive Assignment* (FEA) ditunjukkan pada Gambar 3[4][5].



Gambar 3 *Flowchart* Struktur Dasar Strategi *Frequency Exhaustive Assignment* (FEA)

#### 2.4 Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Algoritma *particle swarm optimization* (PSO) adalah teknik optimasi berbasis populasi yang diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 [1]. Teknik ini diinspirasi oleh perilaku sosial dari kawanan burung yang terbang berduyun-duyun (*bird flocking*) atau gerombolan ikan yang berenang berkelompok (*fish schooling*) [6]. Kata partikel menunjukkan misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Dalam konteks optimasi *multivariabel*, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik : posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang (*space*) tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif.

Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut.

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut [7]:

1. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma.
2. *Particle* : anggota (individu) pada suatu *swarm*.
3. *Pbest (Personal Best)* : posisi *Pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global Best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi terbaik diantara *Pbest* yang ada.
5. *Velocity (V)* : kecepatan yang menggerakkan proses optimasi yang menentukan arah dimana *particle* diperlukan untuk berpindah dan memperbaiki posisinya semula.
6. *Learning Rates (C1 dan C2)* : suatu konstanta untuk menilai kemampuan *particle* (C1) dan kemampuan sosial *swarm* (C2) yang menunjukkan bobot dari *particle* terhadap memorinya. Nilai C1 dan C2 antara 0 - 2.
7. *Inertia Weight (θ)* : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity*.

Algoritma dari PSO yaitu [7]:

1. Menentukan ukuran *swarm* dan menentukan nilai awal masing-masing partikel.
2. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel.
3. Menentukan kecepatan / *velocity* mula-mula.
4. Menghitung *Pbest* dan *Gbest* mula-mula.
5. Menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya dengan Persamaan [9]:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \quad (2)$$

Dengan,

$i$  = iterasi ;  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  ;  $r_1$  dan  $r_2$  adalah bilangan acak

6. Menentukan posisi partikel pada iterasi berikutnya menggunakan persamaan [7]:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (3)$$

7. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan pada

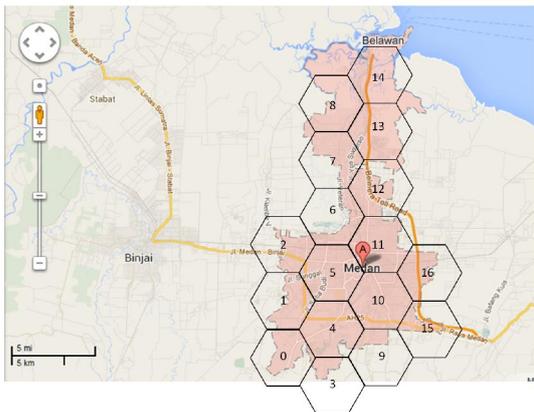
3.

se  
se  
in

3.

of  
1.

M  
se  
se  
da  
m  
pa  
di



Gambar 4. Layout Sel yang Digunakan

2. Pola Interferensi Sel

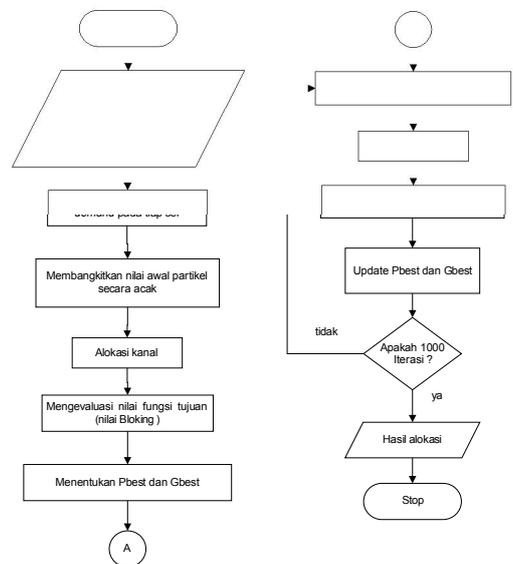
Dari layout sel yang digunakan dapat dihasilkan pola interferensi sel.

3. Matriks Cij

Matriks Cij didapatkan setelah melihat layout yang digunakan dan telah disesuaikan dengan kaidah EMC. Matriks Cij dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Matriks Cij

| Sel | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 0   | 5 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1   | 2 | 5 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2   | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 3   | 2 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 4   | 2 | 2 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 5   | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 6   | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  |
| 8   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 0  |
| 9   | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  |
| 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5  | 2  | 0  | 0  | 0  | 2  | 2  |
| 11  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2  | 5  | 2  | 0  | 0  | 0  | 2  |
| 12  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0  | 2  | 5  | 2  | 0  | 0  | 0  |
| 13  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0  | 0  | 2  | 5  | 2  | 0  | 0  |
| 14  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  | 0  | 0  |
| 15  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 2  |
| 16  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  |



Gambar 5 Flowchart Alokasi Kanal dengan Algoritma PSO

**4. Hasil dan Pembahasan**

Simulasi dilakukan pada *software* NetBeans IDE 8.0 dengan bahasa pemrograman JAVA dan menggunakan perangkat komputer intel core 2 duo 2 Ghz RAM 2 GB.

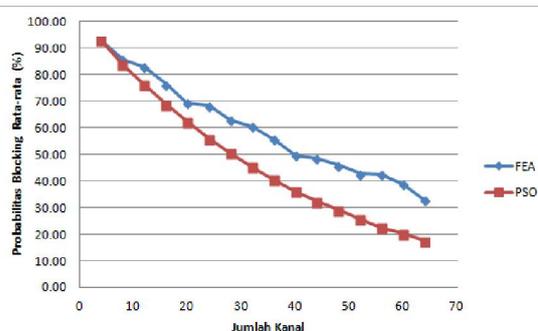
**4.1 Perbandingan Probabilitas *Blocking* Rata-Rata dengan Mengubah Jumlah Kanal yang Tersedia.**

Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil probabilitas *blocking* tiap metode dengan mengubah jumlah kanal yang tersedia dengan iterasi sebanyak 1000 kali. Tabel 2 menunjukkan jumlah probabilitas.

Tabel 2 Perbandingan Nilai Probabilitas *Blocking* Tiap-Tiap Metode

| Jumlah kanal | Probabilitas <i>blocking</i> rata-rata FEA (%) | Probabilitas <i>blocking</i> rata-rata PSO (%) |
|--------------|--|--|
| 4            | 92.84  | 92.88  |
| 8            | 85.73  | 83.71  |
| 12           | 82.96  | 76.24  |
| 16           | 76.29  | 68.81  |
| 20           | 69.28  | 62.36  |
| 24           | 68.28  | 55.85  |
| 28           | 63.04  | 50.58  |
| 32           | 60.64  | 45.24  |
| 36           | 55.68  | 40.38  |
| 40           | 49.74  | 36.13  |
| 44           | 48.59  | 32.30  |
| 48           | 45.83  | 29.00  |
| 52           | 42.68  | 25.64  |
| 56           | 42.49  | 22.51  |
| 60           | 38.79  | 20.22  |
| 64           | 32.75  | 17.38  |

Dari Tabel 2 dapat dibuat dalam bentuk grafik perbandingan antara alokasi menggunakan metode FEA dengan alokasi menggunakan algoritma PSO yaitu ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Probabilitas *Blocking* Rata-Rata Alokasi Metode FEA dengan Algoritma PSO.

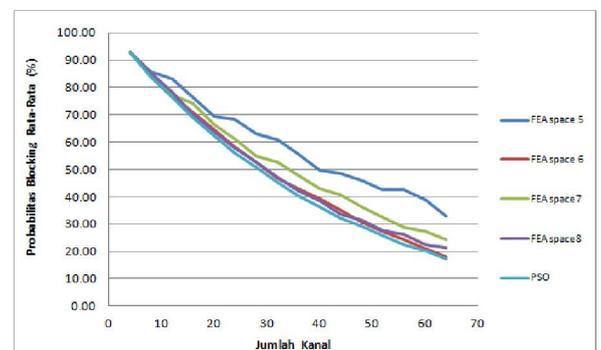
**4.2 Perbandingan Probabilitas *Blocking* Rata-Rata Metode FEA dengan Nilai Cii 5, 6, 7 dan 8 Terhadap Alokasi Menggunakan Algoritma PSO.**

Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil probabilitas *blocking* metode FEA dengan mengubah nilai Cii 5 menjadi nilai 6, 7 dan 8 terhadap nilai probabilitas *blocking* menggunakan algoritma PSO. Tabel 3 menunjukkan jumlah probabilitas *blocking* dalam persen pada tiap-tiap metode .

Tabel 3 Perbandingan Nilai Probabilitas *Blocking* Rata-Rata Metode FEA dengan Nilai Cii 5, 6, 7 dan 8 Terhadap Alokasi Menggunakan Algoritma PSO

| Jumlah Kanal | Probabilitas <i>Blocking</i> FEA Space 5 (%) | Probabilitas <i>Blocking</i> FEA Space 6 (%) | Probabilitas <i>Blocking</i> FEA space 7 (%) | Probabilitas <i>Blocking</i> FEA Space 8 (%) | Probabilitas <i>Blocking</i> PSO (%) |
|--------------|--|--|--|--|--------------------------------------|
| 4            | 92.84  | 92.93  | 92.91  | 92.84  | 92.88                                |
| 8            | 85.73  | 85.07  | 85.32  | 85.18  | 83.71                                |
| 12           | 82.96  | 77.35  | 77.12  | 78.13  | 76.24                                |
| 16           | 76.29  | 70.69  | 74.09  | 69.92  | 68.81                                |
| 20           | 69.28  | 64.35  | 66.50  | 63.91  | 62.36                                |
| 24           | 68.28  | 58.32  | 61.04  | 57.88  | 55.85                                |
| 28           | 63.04  | 52.68  | 54.84  | 52.45  | 50.58                                |
| 32           | 60.64  | 46.77  | 52.58  | 47.19  | 45.24                                |
| 36           | 55.68  | 42.79  | 47.63  | 42.04  | 40.38                                |
| 40           | 49.74  | 39.14  | 42.81  | 38.28  | 36.13                                |
| 44           | 48.59  | 35.17  | 40.86  | 33.78  | 32.30                                |
| 48           | 45.83  | 30.71  | 36.40  | 31.22  | 29.00                                |
| 52           | 42.68  | 27.29  | 32.63  | 27.51  | 25.64                                |
| 56           | 42.49  | 24.15  | 28.92  | 26.35  | 22.51                                |
| 60           | 38.79  | 20.79  | 27.37  | 22.51  | 20.22                                |
| 64           | 32.75  | 18.16  | 24.17  | 21.41  | 17.38                                |

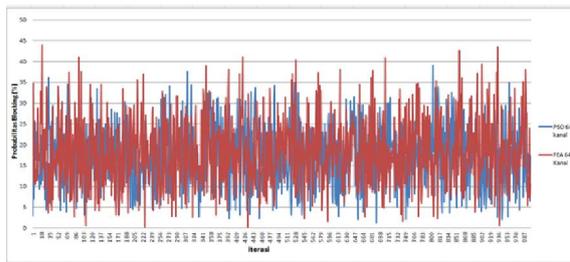
Grafik perbandingan antara alokasi menggunakan metode FEA dengan alokasi menggunakan algoritma PSO yaitu ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Probabilitas *Blocking* Rata-Rata Alokasi Metode FEA dengan Nilai Cii 5, 6, 7, 8 Terhadap Algoritma PSO.

#### 4.3 Perbandingan Probabilitas *Blocking* FEA dan PSO Pada Jumlah Kanal 64 dengan 1000 Iterasi.

Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil probabilitas *blocking* tiap metode yang dimulai dari iterasi pertama sampai iterasi yang ke-1000. Dalam simulasi ini jumlah kanal yang tersedia untuk tiap-tiap metode adalah sebanyak 64 kanal. Gambar 8 menunjukkan grafik jumlah probabilitas *blocking* dalam persen pada tiap-tiap metode.



Gambar 8 Grafik Probabilitas *Blocking* FEA dan PSO Pada Jumlah Kanal 64 dengan Iterasi 1000 Kali

Dari Gambar 5 memperlihatkan garis berwarna merah (metode FEA) cenderung menuju Probabilitas *blocking* yang lebih tinggi dari pada garis berwarna biru (algoritma PSO) pada tiap-tiap iterasinya.

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan, antara lain :

1. Alokasi kanal menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) lebih baik dari pada metode *Frequency Exhaustive Assigmnet* (FEA) .
2. Nilai probabilitas *blocking* rata-rata dengan jumlah kanal yang tersedia 64 kanal dari metode FEA *space* 5 sebesar 32.75%, FEA *space* 6 sebesar 18.16%, FEA *space* 7 sebesar 24.17% , FEA *space* 8 sebesar 21.41% dan dengan PSO sebesar 17.38%.
3. Semakin besar jumlah kanal yang tersedia dalam sistem maka jumlah probabilitas *blocking* akan semakin kecil.
4. Semakin banyak *call demand* maka semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin kecil jumlah *call demand* maka semakin sedikit juga kanal yang digunakan.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] Bansal, J. C., Singh, P. K., Saraswat, M., Verma, A., Jadon, S. S., Ajith A. 2011. "Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization". Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing. 640-647.
- [2] Baharuddin.2008."Perencanaan Alokasi Kanal Dinamik Pada GSM". <http://elektro.ft.unand.ac.id/in/sivitas/data-dosen/898-baharuddin>. diakses pada 15 Oktober 2013.
- [3] Lastedy, Anjar. 2012. "Perancangan Simulator Strategi Alokasi Kanal Dinamis (DCA) Pada Komunikasi Bergerak Seluler GSM". <http://dlib.widyagama.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jtptwidyagama--anjarlaste-26>\. diakses pada 15 Oktober 2013.
- [4] He. Zhenya, Yifeng Zhang, Chengjian Wei, and Jun Wang , "A Multistage Self-Organizing Algorithm Combined Transiently Chaotic Neural Network for Cellular Channel Assignment, " *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.51, November 2002.
- [5] K.N Sivarajan and R.J McEliece. 1989. "Channel Assignment in Cellular Radio Proceedings". *IEEE Vehicular Technology Conference*. 846-850.
- [6] Suyanto. 2010. "Algoritma Optimasi Deterministik atau Probabilitik". Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [7] Harjanto, Dwi. 2012. "Optimasi Penempatan Arrester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*)". [http://www.elektro.undip.ac.id/el\\_kpta/wp-content/uploads/2012/05/L2F007027\\_MTA.pdf](http://www.elektro.undip.ac.id/el_kpta/wp-content/uploads/2012/05/L2F007027_MTA.pdf). diakses pada 15 Oktober 2013.