

ANALISIS ALOKASI KANAL DINAMIK PADA KOMUNIKASI SELULER DENGAN ALGORITMA ARTIFICIAL BEE COLONY

Agus Noble, Rahmad Fauzi

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: agus_noble@students.usu.ac.id or agus_noble@yahoo.com

Abstrak

Pembangunan infrastruktur telekomunikasi seluler/bergerak telah mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Hal ini didasari oleh perkembangan teknologi yang meningkat. Ini dapat dilihat dengan semakin bertambah banyaknya jumlah BTS. Akan tetapi pertambahan tersebut tidak diikuti dengan bertambah banyaknya jumlah spektrum frekuensi. Hal ini menyebabkan permintaan kanal yang maksimal akan tetapi tidak didukung dengan ketersediaan kapasitas saluran yang tersedia. Hal tersebut akan mengakibatkan banyak panggilan yang tidak dapat dilayani atau diblok. Untuk mencegah hal tersebut maka diperlukan solusi pemecahan salah satunya dengan pengoptimalan kanal. Tulisan ini membahas optimasi pengalokasian kanal dinamis pada GSM dengan menggunakan Algoritma *Artificial Bee Colony* sebagai metode penyelesaiannya. Algoritma ini menggunakan sekumpulan lebah yang saling bekerja sama untuk mengeksplorasi solusi-solusi yang memungkinkan. Dari hasil pemodelan yang dilakukan diperoleh besarnya jumlah kanal yang dapat dialokasikan sebesar 124 kanal dengan nilai *call demand* tertinggi 26 panggilan yang terletak pada sel 11. Dengan nilai partikel $c_{ii}=6$ maka diperoleh panggilan yang dapat dilayani sebesar 287 panggilan dan *blocking* sebanyak 15 panggilan dari total seluruh panggilan sebanyak 287 panggilan dengan utilisasi kanal sebesar 94,78%.

Kata kunci: Algoritma *Artificial Bee Colony*, Kanal Dinamis, Pengalokasian Kanal pada Komunikasi Seluler

1. Pendahuluan

Komunikasi seluler telah mengalami perkembangan yang sangat pesat pada dua dekade terakhir dan menurut *International Telecommunications Union* (ITU), jumlah dari pengguna komunikasi seluler ini telah lebih dari 5 miliar di akhir tahun 2010. Karena banyaknya orang yang menggunakan seluler untuk berhubungan dengan orang lain, maka telepon seluler pada masa kini dianggap sangatlah penting. Akibat daripada hal tersebut maka penggunaan kanal pada komunikasi seluler juga akan semakin tinggi. Sementara permintaan besar tetapi spektrum radio terbatas tidak dapat tumbuh seiring dengan permintaan.

Kendala yang dihadapi sekarang ini sebenarnya bukan karena kurangnya spektrum frekuensi, akan tetapi disebabkan karena kurang efisiennya pemakaian spektrum frekuensi tersebut dimana dalam hal ini adalah pengalokasian di setiap kanal. Untuk mengalokasikan kanal dapat menggunakan beberapa strategi diantaranya FCA (*Fixed Channel Assignment*) dan DCA (*Dynamic Channel Assignment*). Dari masalah tersebut

diperlukan sebuah metode untuk dapat mengoptimalkan pengalokasian kanal dinamis pada sistem komunikasi seluler.

Tulisan ini membahas algoritma optimasi *Artificial Bee Colony* dalam meningkatkan pengalokasi kanal. Dengan menggunakan Algoritma *Artificial Bee Colony* dihasilkan peningkatan alokasi kanal yang ditandai dengan berkurangnya probabilitas *blocking*.

2. Channel Assignment Pada Sistem Komunikasi Seluler

2.3 Sistem Komunikasi Seluler

Teknologi komunikasi seluler sebenarnya sudah berkembang dan banyak digunakan pada awal tahun 1980-an, diantaranya sistem C-NET yang dikembangkan di Jerman dan Portugal oleh Siemens, sistem RC-2000 yang dikembangkan di Prancis, sistem NMT yang dikembangkan di Belanda dan Skandinavia oleh Ericsson, serta sistem TACS yang beroperasi di Inggris. Namun teknologinya yang masih analog membuat sistem yang digunakan bersifat regional sehingga sistem antara negara satu dengan yang

lain tidak saling kompatibel dan menyebabkan mobilitas pengguna terbatas pada suatu area sistem teknologi tertentu saja (tidak bisa melakukan roaming antar negara).

Sebuah sistem komunikasi bergerak selular menggunakan sejumlah besar pemancar berdaya rendah untuk menciptakan sel (daerah geografis) layanan dasar dari sistem komunikasi nirkabel (tanpa kabel). Variabel tingkat daya antena pemancar, memungkinkan sel-sel diubah ukurannya menyesuaikan kepadatan pelanggan dan permintaan dalam suatu wilayah tertentu[1].

2.4 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 *dynamic*.

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

a. *Fixed Channel Allocation* (FCA)

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.

b. *Dynamic Channel Allocation* (DCA)

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 [2].

2.3 Perumusan Channel Assignment Problem

Permasalahan *channel assignment* (CAP) muncul dalam jaringan telepon selular 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 [3]:

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

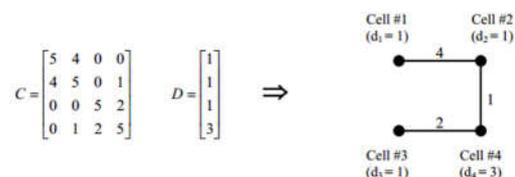
Dari ketiga hal tersebut dapat dihitung jumlah kanal minimum yang dapat disediakan untuk penugasan kanal, dengan rumus [3]:

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

dimana: c_{ii} =nilai maksimum CSC pada matrik C

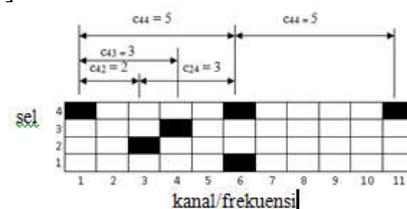
d_i =nilai maksimum *demand* tertinggi)

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 [3].



Gambar 2 Setrategi *Frequency Exhaustive Assignment*

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

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

3. Metodologi Penelitian

Pada tulisan ini, proses pengalokasian kanal yang dilakukan melalui beberapa langkah-langkah yaitu:

1. Memasukkan data trafik tiap sel.
2. Memasukkan data probabilitas *blocking* tiap sel.
3. Menghitung jumlah kanal yang dibutuhkan tiap sel.
4. Mengurutkan sel yang memiliki jumlah kanal paling besar ke sel yang memiliki jumlah kanal terkecil.
5. Memakai matriks EMC sebagai pedoman dalam melakukan pengalokasian.
6. Melakukan pengalokasian kanal (dalam hal ini menggunakan *algoritma Artificial Bee Colony*)

Pada tulisan ini proses pengalokasian dengan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) adalah pendekatan *population-based metaheuristic* yang diusulkan oleh karaboga dan bastruk. Pendekatan ini terinspirasi oleh perilaku cerdas kawanan lebah madu mencari makanan. Pada *ABC Algorithm* memiliki 3 kelompok lebah, yaitu: *employed bees* (lebah pekerja), *onlookers* (lebah penjaga), dan *scouts* (lebah pengintai).

Employed bee yang berhubungan dengan sumber makanan tertentu, *onlooker bee*

menyaksikan tarian lebah yang digunakan dalam sarang untuk memilih sumber makanan, dan *scout bee* mencari sumber makanan secara acak. *Onlooker* dan *scout bee* merupakan *unemployed bee*. Awalnya *scout bee* menemukan posisi semua sumber makanan, setelah itu tugas dari *employed bee* dimulai. Sebuah *employed bee* buatan secara probabilitas memperoleh beberapa modifikasi pada posisi dalam memori untuk menargetkan sumber makanan baru dan menemukan jumlah *nectar* atau nilai *fitness* dari sumber baru. Kemudian, *scout bee* mengevaluasi informasi yang diambil dari semua *employed bee* buatan dan memilih sumber makanan akhir dengan nilai probabilitas tertinggi terkait dengan jumlah *nectar* tersebut. Jika nilai *fitness* yang baru lebih tinggi dari yang sebelumnya, lebah itu akan melupakan yang lama dan menghafal posisi baru. Hal ini disebut *greedy selection*. Kemudian *employed bee* yang makanannya telah habis menjadi *scout bee* untuk mencari sumber makanan lebih lanjut sekali lagi[4][5].

4. Pemodelan Alokasi Kanal Dinamis dengan Algoritma *Artificial Bee Colony*

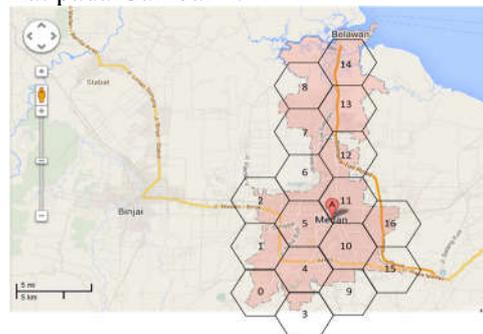
Proses pengalokasian kanal dilakukan setelah parameter kerja optimasi berupa layout sel, jumlah *call demand*, dan kendala interferensi telah ditentukan.

4.1 Parameter Kerja Optimasi

Beberapa parameter yang digunakan dalam optimasi alokasi kanal ini antara lain:

6. Layout Sel

Layout sel diasumsikan dari peta kota Medan dengan skala peta 1,63 : 500000. Bentuk sel yang digunakan adalah sel *hexagonal* mikro sel dengan radius sel sebesar 2 km. Tidak semua daerah dimasukkan sebagai *input* untuk membuat *layout* selnya. Sel yang dimodelkan pada *layout* sel Medan sebanyak 17 sel, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Layout* Sel yang Digunakan

7. Pola Interferensi Sel

Dari layout sel yang digunakan dapat dihasilkan pola interferensi sel.

8. 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	0	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	2	2	0	0	0	0	2	5

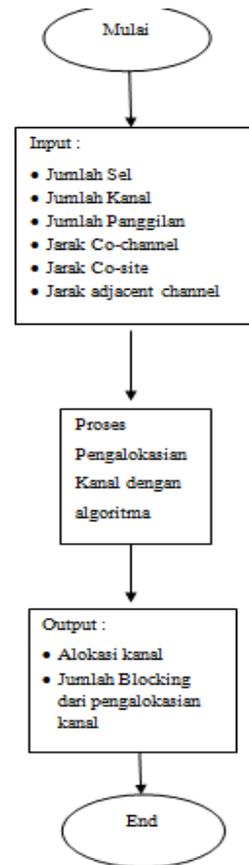
9. Call demand

Data trafik diberikan berdasarkan asumsi penulis, data yang digunakan adalah sebagai berikut: (1,2,3,

4,5,6,7,8,9,10,10,11,12,13,14,15, 16,17,18,19,20). Dalam hal ini trafik diasumsikan terdistribusi diskrit dengan nilai probabilitas sebagai berikut: P(1)=1/20; P(2)=1/20; P(3)=1/20; P(4)=1/20; P(5)=1/20; P(6)=1/20; P(7)=1/20; P(8)=1/20; P(9)=1/20; P(10)=2/20; P(11)=1/20; P(12)=1/20; P(13)=1/20;P(14)=1/20;P(15)=1/20; P(16)=1/20; P(17)=1/20; P(18)=1/20; P(20)=1/20.

4.2 Artificial Bee Colony Pada Alokasi Kanal

Untuk mendapatkan hasil yang optimal pada alokasi kanal dinamis ini maka digunakan algoritma *artificial bee colony* (ABC). Diagram alir simulasi alokasi kanal dengan algoritma ABC pada Gambar 5.



Gambar 5 Flowchart Alokasi Kanal

5. Hasil dan Pembahasan

Simulasi dilakukan pada *software* simulasi dengan menggunakan perangkat komputer intel core 2 duo 2 Ghz RAM 2 GB.

5.1 Perbandingan Probabilitas Blocking rata-rata Metode FEA dengan Mengubah Jumlah C_{ii}.

Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil probabilitas *blocking* tiap metode dengan mengubah nilai jumlah C_{ii}. Tabel 2 menunjukkan nilai jumlah C_{ii} = 5.

Tabel 2 Hasil Alokasi Kanal untuk C_{ii} = 5

Se I	Jumlah Kanal	Nomor Kanal
1	14	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48,53,58,63,68
2	15	1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56,61,66,71
3	18	5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90
4	17	1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56,61,66,71,76,81
5	22	5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,105,110

6	25	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48,53,58,63,68,73,78,83,88,93,98,103,108,113,118,123
7	16	1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56,61,66,71,76,81,86
8	20	5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100
9	21	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48,53,58,63,68,73,78,83,88,93,98,103
10	10	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48
11	26	1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56,61,66,71,76,81,86,91,96,101,106,111,116,121,126
12	24	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48,53,58,63,68,73,78,83,88,93,98,103,108,113,118
13	7	3,8,13,18,23,28,33
14	13	1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56,61
15	12	5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60
16	8	5,10,15,20,25,30,35,40
17	19	3,8,13,18,23,28,33,38,43,48,53,58,63,68,73,78,83,88,93

7	16	1,7,13,19,25,31,37,43,49,55,61,67,73,79,85,91
8	20	5,11,17,23,29,35,40,46,52,58,64,70,76,82,88,94,100,106,112,118
9	21	3,9,15,21,27,33,39,45,51,57,63,69,75,81,87,93,99,105,111,117,123
10	10	3,9,15,21,27,33,39,45,51,57
11	21	1,7,13,19,25,31,37,43,49,55,61,67,73,79,85,91,97,103,109,115,121
12	20	5,11,17,23,29,35,41,47,53,59,71,77,83,89,95,101,107,113,119
13	7	3,9,15,21,27,33,39
14	13	1,7,13,19,25,31,37,43,49,55,61,67,73
15	12	5,11,17,23,29,35,40,46,52,58,64,70
16	8	5,11,17,23,29,35,40,46
17	19	3,9,15,21,27,33,39,45,51,57,63,69,75,81,87,93,99,105,111

Dari hasil pengalokasian pada Tabel 2 terdapat sel yang saling interferensi dimana sel tersebut akan diblocking (tidak dilayani) oleh sistem. Sel-sel yang diblocking dari $C_{ii}=5$ adalah sel nomor 3,5,12,15,16 dengan total blocking adalah :

$$N_{call}=287 ; N_{serv}=203, \text{ maka:}$$

$$\text{Bloking} = N_{call} - N_{serv}$$

$$= 287 - 203$$

$$= 84 \text{ panggilan yang terblok}$$

Pada Tabel 3 ditunjukkan hasil pengalokasian kanal dengan nilai $C_{ii} = 6$.

Tabel 3 Hasil Alokasi Kanal untuk $C_{ii} = 6$

Sel	Jumlah Kanal	Nomor Kanal
1	14	3,9,15,21,27,33,39,45,51,57,63,69,75,81
2	15	1,7,13,19,25,31,37,43,49,55,61,67,73,79,85
3	18	5,11,17,23,29,35,40,46,52,58,64,70,76,82,88,94,100,106
4	17	1,7,13,19,25,31,37,43,49,55,61,67,73,79,85,91,97
5	21	5,11,17,23,29,35,40,46,52,58,64,70,76,82,88,94,100,106,112,118,124
6	21	3,9,15,21,27,33,39,45,51,57,63,69,75,81,87,93,99,105,111,117,123

Kanal yang tersedia dalam sistem sebanyak 124 kanal, sehingga ada kanal yang terblok yaitu sebanyak 15 kanal dan panggilan yang dapat dilayani sebanyak 273 kanal. Dapat dilihat apabila nilai call demandnya tinggi maka tetap ada blocking karena menggunakan system GSM dengan maksimal kanal adalah sebanyak 124 kanal. Sehingga nilai GlobalMins yang diperoleh dari alokasi kanal menggunakan $C_{ii}=6$ adalah sebesar 15. Pada Tabel 4 ditunjukkan hasil pengalokasian kanal dengan nilai $C_{ii} = 7$.

Tabel 4 Hasil Alokasi Kanal untuk $C_{ii} = 7$

Sel	Jumlah Kanal	Nomor Kanal
1	14	3,10,17,24,31,38,45,52,59,66,73,80,87,94
2	15	1,8,15,22,29,36,43,50,57,64,71,78,85,92,99
3	18	5,12,19,26,33,40,47,54,61,68,75,82,89,96,103,110,117,124
4	17	1,8,15,22,29,36,43,50,57,64,71,78,85,92,99,106,113
5	18	5,12,19,26,33,40,47,54,61,68,75,82,89,96,103,110,117,124
6	18	3,10,17,24,31,38,45,52,59,66,73,80,87,94,101,108,115,122
7	16	1,8,15,22,29,36,43,50,57,64,71,78,85,92,99,106
8	18	5,12,19,26,33,40,47,54,61,68,75,82,89,96,103,110,117,124

9	18	3,10,17,24,31,38,45,52,59,66 ,73,80,87,94,101,108,115, 122
10	10	3,10,17,24,31,38,45,52,59,66
11	18	1, 8,15,22,29,36,43,50,57,64,71 ,78,85,92,99,106,113 120
12	17	5,12,19,26,33,40,47,54,61,68 ,75,82,89,96,103,110,117, 124
13	7	3,10,17,24,31,38,45
14	13	1, 8,15,22,29,36,43,50,57,64,71 ,78,85
15	12	5,12,19,26,33,40,47,54,61,68 ,75, 82
16	8	5,12,19,26,33,40,47,54
17	18	3,10,17,24,31,38,45,52,59,66 ,73,80,87,94,101,108,115, 122

Kanal yang tersedia dalam sistem sebanyak 124 kanal, sehingga ada kanal yang terblokir yaitu sebanyak 31 kanal dan panggilan yang dapat dilayani sebanyak 256 kanal. Dapat dilihat apabila nilai call demandnya tinggi maka tetap ada blokir karena menggunakan *system* GSM dengan maksimal kanal adalah sebanyak 124 kanal. Sehingga nilai *GlobalMins* yang diperoleh dari alokasi kanal menggunakan $C_{ii}=7$ adalah sebesar 31.

4.2 Utilisasi

Utilisasi merupakan jumlah persentase pemanfaatan kanal yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemanfaatan Kanal yang Digunakan

State	Jumlah Blocking	Pemanfaatan Kanal
$C_{ii}=5$	85 kanal	70,83 %
$C_{ii}=6$	15 kanal	94,78 %
$C_{ii}=7$	31 kanal	89,19 %

Pada Tabel 5 ditunjukkan besarnya nilai persentase pemanfaatan kanal setelah dilakukan pengalokasian kanal untuk beberapa nilai C_{ii} . Pada $C_{ii}=5$ dihasilkan nilai *blocking* sebesar 85 kanal dengan pemanfaatan kanal sebesar 70,83%. Sedangkan pada $C_{ii}=6$ dihasilkan nilai *blocking* sebesar 15 kanal sehingga nilai persentase pemanfaatan kanalnya sebesar 94,78%. Untuk $C_{ii}=7$ dihasilkan nilai *blocking* sebesar 31 kanal

sehingga nilai persentase pemanfaatan kanal sebesar 89,19%.

6. Kesimpulan

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

1. Alokasi kanal menggunakan algoritma *artificial bee colony* ini dipengaruhi oleh nilai Limit dan nilai *call demand*.
2. Nilai limit yang diterima adalah limit yang menghasilkan nilai *GlobalMins* yang terkecil yaitu dengan nilai limit =6 menghasilkan nilai *GlobalMins* sebesar 15.
3. Pemanfaatan kanal pada nilai partikel =6 merupakan yang lebih baik dengan persentase 94,78%.
4. Semakin besar jumlah *call demand* maka semakin besar jumlah kanal minimum yang digunakan dan semakin kecil jumlah *call demand* maka jumlah kanal minimum yang digunakan juga semakin sedikit.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim. 2009. Sekilas Tentang Sistem Komunikasi Seluler.
- [2] Mufti A, Nachwan. ST. 2003. Modul 3 Sistem Komunikasi Bergerak.
- [3] Susilawati, Indah. S.T., M.Eng . 2009. Teknik Komunikasi Dasar Kuliah 10-Komunikasi Bergerak. Universitas Mercu Buana Yogyakarta.
- [4] Bonabeau E, Dorigo M, Theraulaz G (1999) *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*, Oxford University Press, Inc, New York.
- [5] Faisal Amri, Erna Budhiarti, MohammadFadly Syahputra 2012. *Artificial Bee Colony Algorithm Untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem*.