IMPLEMENTASI ALGORITMA *CAT SWARM OPTIMIZATION* DALAM MENYELESAIKAN *JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM* (JSSP)

I Wayan Radika Apriana[1§], Ni Ketut Tari Tastrawati[2], Kartika Sari[3]

[1]Jurusan Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: viruezradikaviruez@gmail.com]
[2]Jurusan Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: taritastrawati@yahoo.com]
[3]Jurusan Matematika, Fakultas MIPA – Universitas Udayana [Email: sari_kaartika@yahoo.co.id]
[§]*Corresponding Author*

ABSTRACT

Cat Swarm Optimization (CSO) algorithm is a metaheuristic algorithm which is based on two behaviors of cat, seeking and tracing. CSO algorithm is used in solving optimization problems. One of the optimization problems which can be seen in daily life is Job Shop Scheduling Problem (JSSP). This study aimed to observe the performance of CSO algorithm in solving JSSP. This study focused on 5 job-12 machine cases. According to this study, CSO algorithm was effective in solving real case of JSSP in 5 jobs – 12 machines scheduling at CV Mitra Niaga Indonesia agriculture tools industry. In implementing CSO algorithm in JSSP, a correct parameter choosing could lead to an optimal result. On other hand, the greater the number of jobs or machines the more complex and difficult the JSSP that needed to be solved.

Keywords : Cat Swarm Optimization, Job Shop Scheduling Problem, Makespan

1. PENDAHULUAN

Algoritma *Cat Swarm Optimization* (CSO) merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang diusulkan oleh Shu-Chu Chu dan Pei-Wei Tsai pada tahun 2006. Dasar pemikiran algoritma ini adalah memanfaatkan kombinasi perilaku kucing yaitu *seeking mode* dan *tracing mode* untuk memecahkan masalah optimasi. *Seeking mode* menggambarkan keadaan kucing pada saat beristirahat, melihat kondisi sekitarnya mencari posisi berikutnya untuk bergerak. T*racing mode* menggambarkan keadaan ketika kucing sedang mengikuti jejak targetnya (Chu & Tsai, 2007).

Algoritma *Cat Swarm Optimization* (CSO) dapat diimplementasikan dalam meyelesaikan permasalahan optimasi. Salah satu permasalahan optimasi yang ada dalam kehidupan sehari-hari adalah kasus *Job Shop Scheduling Problem* (JSSP). JSSP adalah salah permasalahan yang biasanya dihadapi perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur. JSSP merupakan permasalahan optimasi kombinatorial yang bertujuan untuk mendapatkan urutan terbaik operasi mesin-mesin dengan waktu penyelesaian seluruh pekerjaan (*makespan*) yang minimum (Suyanto, 2010).

Beberapa penelitian menggunakan algoritma optimasi dalam menyelesaikan kasus JSSP. Satrio (2007) meneliti masalah optimasi penjadwalan *job shop* untuk industri peralatan pengolahan hasil pertanian dengan menggunakan algoritma genetika. Pratama (2009) meneliti masalah optimasi penjadwalan *job shop* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang dimodifikasi. Bouzidi & Riffi (2014) mengimplementasikan algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus JSSP.

Dari penelitian-penelitian yang dipaparkan pada bagian terdahulu, diperoleh bahwa algoritma genetika efisien dalam menyelesaikan kasus JSSP berskala kecil maupun berskala besar. Sementara algoritma PSO yang dimodifikasi memiliki kinerja yang baik dalam menyelesaikan kasus dengan jumlah mesin tidak

lebih dari 10 mesin. Selain itu juga diperoleh bahwa algoritma CSO dapat menghasilkan solusi yang baik dilihat dari waktu yang diperlukan dan solusi terbaik yang dicapai dalam menyelesaikan kasus JSSP yang datanya diperoleh dari OR-Library.

Oleh karena itu peneliti tertarik untuk mengkaji kinerja algoritma CSO untuk menyelesaikan kasus nyata JSSP. Data yang digunakan adalah data dari penelitian Satrio (2007) kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin yaitu kasus yang dibuat mengikuti aturan permasalahan penjadwalan tipe *job shop* yang digunakan untuk *validasi* program dan kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin yaitu kasus di industri peralatan pengolahan hasil pertanian CV Mitra Niaga Indonesia, Bogor. Pada penelitian ini diharapkan bisa menjadi cara alternatif solusi dalam menyelesaikan kasus nyata JSSP.

Job shop scheduling problem (JSSP) adalah permasalahan optimasi kombinatorial. Misalkan terdapat n buah *job* atau pekerjaan, yaitu $J_1, J_2, \dots, J_n$ yang akan diproses pada m buah mesin, yaitu $M_1, M_2, \dots, M_m$. Waktu yang diperlukan untuk operasi O_{ij} (mengerjakan *job* J_i dengan menggunakan mesin M_j) adalah t_{ij}. Setiap operasi diproses selama waktu tertentu dan oleh mesin tertentu. Setiap mesin hanya dapat menangani satu operasi, dan operasi dari pekerjaan yang sama tidak dapat diproses secara bersamaan. Tujuan dari *job shop scheduling* adalah bagaimana membuat jadwal yang berupa urutan pengerjaan yang optimal berdasarkan kriteria tertentu, misalkan untuk mendapatkan jadwal dengan *makespan* yang minimum (Suyanto, 2010).

Formulasi Masalah *Job Shop* Statik, untuk permasalahan n *job* dan m mesin $(m, n \in N)$, solusinya diperoleh dari urutan $n \times m$ proses. Masing-masing solusi diwakili oleh urutan semua operasi yang ada. Operasi yang dimaksud adalah operasi pertama sampai operasi ke-k $(k \leq n \times m), k \in N$. Setiap proses diwakili oleh sepasang M_{O_i} dan $T_{O_i}, i \in \{1,2, \dots, k\}$ (Bouzidi & Riffi, 2014).

Misalkan $\alpha_j \in \{O_1, O_2, \dots, O_{k\,(k \leq n \times m)}\}$ dan $j \in \{1,2, \dots, k\}, j \in N$. Bentuk solusi umum JSSP yang diperoleh dari urutan $n \times m$ proses dapat dilihat pada Gambar 1.

α_1	α_2	…	$\alpha_{k\,(k \leq n \times m)}$

Gambar 1. Bentuk solusi umum JSSP

Dalam membuat jadwal yang *valid*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah data dari kasus JSSP dibuat ke dalam bentuk matriks informasi. Matriks informasi dibuat untuk mewakili informasi dari masing-masing operasi dan sebagai dasar dalam membuat penjadwalan yang memenuhi setiap batasan yang ada (*valid*). Matriks informasi memiliki k $(k \leq n \times m)$ kolom dan lima baris. Kolom mewakili jumlah total operasi yang ada pada seluruh *job* dan kelima baris yang dimaksud adalah

O_i : nama atau nomor operasi di jadwal $(i \in \{1,2, \dots, k\})$.
J_{O_i} : *job* dari operasi O_i.
Seq_{O_i} : urutan dari operasi O_i dengan *job* yang sesuai.
M_{O_i} : mesin dimana operasi O_i akan diproses.
T_{O_i} : waktu proses dari operasi O_i.

Bentuk matriks informasi dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\begin{pmatrix} O_1 & O_2 & \dots & O_i & \dots & O_{k\,(k \leq n \times m)} \\ J_{O_1} & J_{O_2} & \dots & J_{O_i} & \dots & J_{O_{k\,(k \leq n \times m)}} \\ Seq_{O_1} & Seq_{O_2} & \dots & Seq_{O_i} & \dots & Seq_{O_{k\,(k \leq n \times m)}} \\ M_{O_1} & M_{O_2} & \dots & M_{O_i} & \dots & M_{O_{k\,(k \leq n \times m)}} \\ T_{O_1} & T_{O_2} & \dots & T_{O_i} & \dots & T_{O_{k\,(k \leq n \times m)}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Cat Swarm Optimization (CSO) adalah algoritma yang diusulkan oleh Shu-Chuan Chu dan Pei-Wei Tsai pada tahun 2006. CSO dihasilkan melalui pengamatan terhadap perilaku sekumpulan kucing dan terdiri dari dua sub-models yaitu : "*seeking mode*" dan "*tracing mode*" (Chu & Tsai, 2007).

Tahap pertama yang dilakukan pada proses CSO adalah menentukan berapa banyak kucing yang digunakan dalam iterasi, selanjutnya menggunakan kucing dalam CSO untuk

menyelesaikan masalah. Setiap kucing memiliki posisi yang tersusun di dalam dimensi M, kecepatan untuk setiap dimensi, nilai *fitness* yang menunjukan penyesuaian kucing pada fungsi *fitness* dan bendera untuk menentukan kucing masuk berada dalam *seeking mode* atau *tracing mode*. Solusi akhir adalah satu kucing dengan posisi terbaik. CSO akan menyimpan solusi terbaik hingga akhir iterasi (Chu & Tsai, 2007).

CSO terdiri dari dua sub model yaitu *seeking mode* dan *tracing mode*, untuk mengkombinasikan kedua *mode* dalam satu algoritma, perlu didefinisikan *mixture ratio* (MR). Dengan mengamati perilaku kucing, dapat diketahui bahwa kucing menghabiskan sebagian besar waktunya untuk beristirahat.

Selama beristirahat, kucing mengubah posisinya secara perlahan dan berhati-hati, terkadang tetap pada posisi awalnya. Untuk menerapkan perilaku ini ke dalam CSO, digunakan *seeking mode*. Perilaku mengejar target diaplikasikan dalam *tracing mode*. Oleh karena itu, MR harus bernilai kecil untuk memastikan bahwa kucing menghabiskan sebagian besar waktu kucing dalam posisi *seeking mode* (Chu & Tsai, 2007).

a. Seeking Mode

Mode ini menggambarkan keadaan kucing pada saat beristirahat, melihat kondisi sekitarnya mencari posisi berikutnya untuk bergerak. *Seeking mode* memiliki empat faktor penting yang harus diperhitungkan, yaitu : *seeking memory pool* (SMP), *seeking range of the selected dimension* (SRD), *counts of dimension to change* (CDC), dan *self position considering* (SPC). SMP digunakan untuk menentukan berapa banyak jumlah kucing tiruan yang akan dibuat, SRD atau mencari rentang dimensi terpilih, CDC menentukan dimensi yang akan berubah, dan SPC mempertimbangkan apakah posisi saat ini menjadi salah satu kandidat (Chu & Tsai, 2007).

Langkah-langkah *seeking mode* dapat dideskripsikan dalam 5 tahap sebagai berikut (Chu & Tsai, 2007):

Langkah 1: Bangkitkan j tiruan dari posisi kucing ke- k, dengan $j = SMP$. Jika nilai SPC benar, maka $j = (SMP - 1)$, kemudian pertahankan posisi saat ini sebagai salah satu kandidat.

Langkah 2: Untuk setiap tiruan, disesuaikan dengan CDC, tambahkan atau kurangkan SRD persen dari nilai saat ini secara acak dan gantikan nilai yang sebelumnya.

Langkah 3: Hitung nilai *fitness* (FS) untuk semua titik kandidat.

Langkah 4: Jika semua nilai *fitness* tidak benar-benar sama, hitung probabilitas terpilih masing-masing titik kandidat dengan menggunakan persamaan (2), sebaliknya atur probabilitas terpilih untuk semua titik sama dengan 1.

$$P_h = \frac{|FS_h - FS_b|}{FS_{max} - FS_{min}}, \text{ dimana } 0 < h < j \qquad (2)$$

Langkah 5: secara acak pilih titik untuk bergerak dari titik-titik kandidat, dan pindahkan posisi kucing ke- k.

Jika tujuan fungsi *fitness* adalah untuk menemukan solusi minimal, maka $FS_b = FS_{max}$, sebaliknya $FS_b = FS_{min}$ (Bouzidi & Riffi, 2014).

b. Tracing Mode

Tracing mode adalah *mode* yang menggambarkan keadaan ketika kucing sedang mengikuti jejak targetnya. Sekali kucing memasuki *tracing mode*, kucing tersebut akan bergerak sesuai dengan kecepatannya untuk tiap dimensi (Chu & Tsai, 2007).

Tahapan *tracing mode* dapat dijabarkan dalam 3 langkah sebagai berikut (Chu & Tsai,2007):

Langkah 1: Perbarui nilai kecepatan untuk setiap dimensi ($V_{k,d}$) dengan rumus

$$V'_{k,d} = V_{k,d} + r_1 \times c_1(X_{best,d} - X_{k,d}) \qquad (3)$$

Langkah 2: Periksa apakah kecepatan berada dalam rentang kecepatan maksimum. Jika kecepatan yang baru melebihi rentang, tetapkan nilai sama dengan batas.

Langkah 3: Perbarui posisi kucing ke- k dengan rumus

$$X'_{k,d} = X_{k,d} + V'_{k,d} \qquad (4)$$

$X_{best,d}$ adalah posisi kucing yang memiliki nilai *fitness* terbaik, $X_{k,d}$ adalah posisi kucing ke- k pada dimensi ke- d, c_1 adalah konstanta dan r_1 adalah nilai acak dalam rentang [0,1].

Inertia Weight (w)

Parameter ini berguna untuk mengontrol keseimbangan antara kemampuan eksplorasi global dan lokal, serta penurunan kecepatan untuk menghindari stagnasi pada optimum lokal. Jika nilai *inertia weight* terlalu besar akan mengakibatkan posisi kucing berubah terlalu jauh, sehingga gagal untuk menemukan solusi. Sebaliknya, jika nilai *inertia weight* terlalu kecil posisi kucing akan terjebak pada optimum lokal (Chu & Tsai, 2007).

Untuk menyelesaikan permasalahan kucing yang menjauhi solusi dan terperangkap pada optimum lokal, CSO dimodifikasi dengan menambahkan parameter baru berupa nilai *inertia weight* (w) yaitu, CSO dengan *inertia*. Pada nilai *inertia weight* (w) berubah secara acak dalam *tracing mode*, sehingga kecepatan pada persamaan (3) menjadi:

$$V'_{k,d} = w \times V_{k,d} + r_1 \times c_1(X_{best,d} - X_{k,d}) \quad (5)$$

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian Satrio (2007) mengenai *job shop scheduling problem.* Jenis data yang digunakan adalah data kuantitatif, terdiri dari tiga kasus *job shop*. Kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah kasus pertama yaitu, penjadwalan 3 *job* – 2 mesin dan kasus ketiga yaitu, penjadwalan 5 *job* – 12 mesin. Kasus pertama dipilih untuk validasi program yang telah dibuat. Kasus ketiga adalah kasus penjadwalan di Industri peralatan pengolahan hasil pertanian.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu penyelesaian seluruh pekerjaan (*makespan*) dinotasikan dengan C_{max}.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat solusi JSSP yang *valid*
   a. Menyatakan data ke dalam bentuk matriks informasi berdasarkan (1).
   b. Membuat solusi acak awal, solusi yang dihasilkan dapat berupa solusi *valid* atau berupa solusi yang tidak *valid*.
   c. Jika solusi acak awal yang dihasilkan berupa solusi yang *valid*, lanjutkan menghitung *makespan* solusi tersebut. Sedangkan jika solusi acak awal berupa solusi yang tidak *valid*, lakukan koreksi hingga mendapatkan solusi yang *valid*.
   d. Menghitung *makespan* dari solusi yang *valid*.
2. Terapkan algoritma *Cat Swarm Optimization* dengan langkah-langkah sebagai berikut :
   a. Bangkitkan sejumlah N kucing dalam proses. Setiap kucing merepresentasikan himpunan solusi awal, yaitu urutan acak dari operasi O_1 sampai operasi $O_{k(k \leq nxm)}$, dimana n adalah *job* dan m adalah mesin.
   b. Inisialisasi posisi, kecepatan, dan ruang kucing.
   c. Hitung nilai *fitness* masing-masing kucing berupa *makespan* dari setiap solusi.
   d. Pindahkan kucing sesuai rasio MR. Jika kucing berada dalam *seeking mode* perlakukan sesuai proses *seeking mode*, sebaliknya perlakukan sesuai proses *tracing mode*.
      (a) Untuk kucing dalam *seeking mode* :
         1. Bangkitkan tiruan sebanyak SMP yang telah ditetapkan. Jika SPC bernilai benar, maka pertahankan posisi saat ini sebagai salah satu kandidat.
         2. Untuk setiap tiruan, tambahkan atau kurangkan sebesar SRD persen dari nilai saat ini, jika melebihi rentang SRD maka tetapkan nilai rentang sama dengan batas maksimum.
         3. Hitung nilai *fitness* untuk semua titik kandidat.
         4. Hitung peluang terpilih masing-masing titik kandidat dengan menggunakan persamaan (2).

5. Secara acak pilih titik untuk bergerak dari titik-titik kandidat, lalu pindahkan posisi kucing.

(b) Untuk kucing dalam *tracing mode* :

6. Perbaharui kecepatan kucing dengan menggunakan persamaan (5) dan perbaharui posisi kucing menggunakan persamaan (4).

e. Pilih lagi sejumlah kucing dan masukkan dalam *tracing mode* sesuai MR, sisanya masukkan ke dalam *seeking mode*.
f. Perhatikan kondisi akhir algoritma. Jika telah memuaskan dalam artian fungsi *fitness* bernilai kecil, maka hentikan program. Sebaliknya, jika belum maka ulangi langkah (c) hingga (e).
g. Akhir pada algoritma yang digunakan berupa nilai *fitness* terkecil.
h. Kucing yang terpilih sebagai solusi terbaik adalah kucing yang dapat memenuhi semua batasan yang ada (*valid*) dengan nilai *fitness* terkecil.

Implematasi algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus JSSP dijalankan dengan aplikasi MATLAB 7.8.0 (R2009a) pada Notebook dengan spesifikasi Intel Core i3-2310M. 2.1 GHz dengan RAM 2 GB.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selanjutnya akan diberikan hasil dan pembahasan mengenai kinerja algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus optimasi. Kasus yang digunakan adalah kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin sebagai validasi program dan kasus nyata penjadwalan 5 *job* – 12 mesin. Terlebih dahulu dibahas membuat solusi JSSP awal yang *valid* untuk diterapkan pada algoritma CSO.

Membuat Solusi JSSP Awal Yang *Valid*

Solusi JSSP dapat dikatakan *valid* jika jadwal yang dihasilkan memenuhi batasan yang telah ditetapkan pada masing-masing kasus JSSP. Setiap solusi JSSP yang *valid* memiliki waktu penyelesaian seluruh pekerjaan (*makespan*). Solusi JSSP awal yang *valid* diterapkan pada algoritma CSO sebagai salah satu kucing, tujuannya untuk mendapatkan solusi yang lebih optimal dengan *makespan* yang minimum. Langkah-langkah dalam membuat solusi JSSP awal yang *valid* adalah sebagai berikut:

Pertama, menyatakan data ke dalam bentuk matriks informasi. Data kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin dan kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dinyatakan ke dalam bentuk matriks informasi menggunakan persamaan (1). Representasi matriks informasi kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 3 & 5 & 4 \end{pmatrix}$$

Berlaku cara yang sama untuk membentuk matriks informasi pada kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin.

Langkah selanjutnya, membuat solusi acak awal. Solusi acak awal adalah solusi yang dibuat di awal secara sembarang tanpa memperhatikan urutan dari mesin-mesin yang beroperasi, sehingga solusi tersebut tidak selalu *valid* dan perlu dikoreksi. Sebagai contoh solusi acak awal dari kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin pada Gambar 2.

4	**5**	**1**	**2**	**3**	**6**

Gambar 2. Solusi acak awal 3 *job* – 2 mesin

Berlaku cara yang sama untuk membentuk solusi acak awal pada kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin.

Jika solusi acak awal yang dihasilkan tidak *valid*, maka dilanjutkan ke proses koreksi. Solusi acak awal yang tidak *valid* dikoreksi sampai mendapatkan solusi yang *valid*. Proses koreksi dilakukan dengan memprioritaskan operasi awal dibandingkan operasi lainnya pada setiap *job* untuk dioperasikan terlebih dahulu hingga membentuk solusi baru yang *valid*. Untuk kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin diperoleh solusi *valid* yang paling sederhana dengan mengurutkan operasi-operasi yang ada pada kasus tersebut seperti yang tampak pada Gambar 3.

1	2	3	4	5	6

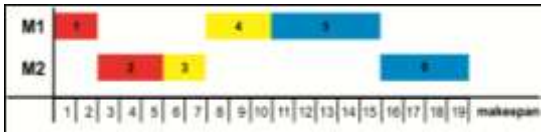
Gambar 3. Solusi *valid* 3 *job* – 2 mesin

Untuk solusi *valid* kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dapat dilihat pada Gambar 4.

1	2	3	…	28	29

Gambar 4. Solusi *valid* 5 *job* – 12 mesin

Apabila solusi *valid* telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung *makespan* dari jadwal yang sudah *valid*. *Makespan* dari solusi *valid* kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin adalah 19 satuan waktu, seperti yang diperlihatkan oleh GANT chart di Gambar 5 dengan masing-masing warna mewakili operasi dengan *job* yang sama.



Gambar 5. GANT Chart solusi *valid* 3 *job* – 2 mesin

Dengan cara yang sama dalam menghitung *makespan* pada kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin, untuk solusi *valid* kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin diperoleh *makespan* sebesar 4462 menit. Lebih lanjut lagi untuk mendapatkan jadwal dan *makespan* yang optimal diterapkan algoritma CSO.

Menerapkan Algoritma *Cat Swarm Optimization*

Solusi JSSP awal yang *valid* digunakan sebagai salah satu kucing dalam menerapkan algoritma CSO. Kucing yang digunakan dalam kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin memiliki posisi seperti Gambar 3. Sedangkan posisi kucing yang digunakan dalam kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dapat dilihat pada Gambar 4.

Selanjutnya menentukan kombinasi parameter yang digunakan CSO untuk mendapatkan nilai *fitness* terbaik melalui uji parameter. Uji parameter bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter yang tepat dalam menemukan nilai *fitness* terbaik untuk masing-masing kasus. Parameter awal yang digunakan dalam uji parameter adalah : MR = 0,02 ; SMP = 5 ; SRD = 0,2 ; CDC = 0,8 ; C1 = 2 yang diambil dari penelitian Chu & Tsai (2007) dengan asumsi *N* kucing = 30 dan iterasi sebanyak 2000. Pengujian dilakukan pada parameter MR, SMP, SRD, CDC, dan C1. Nilai masing-masing parameter yang akan di uji diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menerapkan algoritma CSO dalam menghasilkan nilai *fitness* yang baik.

Hasil pengujian untuk kombinasi parameter terbaik kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi Parameter Terbaik Kasus Penjadwalan 3 *Job* – 2 Mesin

MR	0,3
SMP	1
SRD	0,6
CDC	0,8
C1	2
R	[0,1]

Sedangkan hasil pengujian kombinasi parameter untuk kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Parameter Terbaik Kasus Penjadwalan 5 *Job* – 12 Mesin

MR	0,5
SMP	1
SRD	0,4
CDC	0,6
C1	1
R	[0,1]

Pada Tabel 1 dan Tabel 2 setiap parameter dipilih berdasarkan *makespan* dan *running time* terbaik yang dihasilkan. Pertama dilihat dari *makespan* yang terkecil, jika hasil *makespan* sama maka dilihat dari *running time* program dengan waktu tercepat.

Penjadwalan 3 *Job* – 2 Mesin

Posisi kucing yang digunakan adalah posisi kucing seperti Gambar 4.20 dengan kombinasi parameter-parameter terbaik yang telah diperoleh sebelumnya pada uji parameter, yaitu : MR = 0,3 ; SMP = 1 ; SRD = 0,6 ; CDC = 0,8 ; C1 = 2 ; R = [0,1]. Banyak kucing yang

digunakan dalam simulasi ini adalah 30 dan 50 dengan masing-masing kucing beriterasi sebanyak 500, 1000, dan 2000. Tujuannya untuk melihat apakah perubahan jumlah kucing dan iterasi dapat mempengaruhi hasil dari algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus JSSP.

Hasil simulasi algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Simulasi 1 Algoritma CSO Pada Kasus Penjadwalan 3 *Job* – 2 Mesin.

Jumlah Kucing	**Iterasi**	***Makespan***	***Running Time***	**Posisi Kucing**
N kucing = 30	500	14	0,8594	1-3-2-4-5-6
	1000	19	1,7031	1-2-3-4-5-6
	2000	11	3,4063	1-3-5-2-4-6
N kucing = 50	500	11	1,3438	1-2-3-5-4-6
	1000	11	2,6875	1-3-2-5-4-6
	2000	19	5,3750	1-2-3-4-5-6

Tabel 4. Hasil Simulasi 2 Algoritma CSO Pada Kasus Penjadwalan 3 *Job* – 2 Mesin.

Jumlah Kucing	**Iterasi**	***Makespan***	***Running Time***	**Posisi Kucing**
N kucing = 30	500	11	0,8594	1-2-3-5-4-6
	1000	19	1,7031	1-2-3-4-5-6
	2000	11	3,2813	1-5-2-3-4-6
N kucing = 50	500	19	1,3906	1-2-3-4-5-6
	1000	14	2,7031	1-3-2-4-5-6
	2000	19	5,3594	1-2-3-4-5-6

Dari simulasi algoritma CSO pada kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin diperoleh *makespan* terkecil, yaitu 11 satuan waktu dengan *running time* 0,8594 pada simulasi 2. GANT chart dengan posisi kucing [1-2-3-5-4-6] dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Gant Chart Solusi Kasus Penjadwalan 3 *Job* – 2 Mesin

Hasil ini menunjukan bahwa program yang dibuat *valid* dan dapat digunakan untuk mengimplementasikan algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus JSSP. Dari simulasi 1 dan simulasi 2, algoritma CSO dapat mencapai hasil yang optimal dalam menyelesaikan kasus penjadwalan 3 *job* – 2 mesin.

Penjadwalan 5 *Job* – 12 Mesin

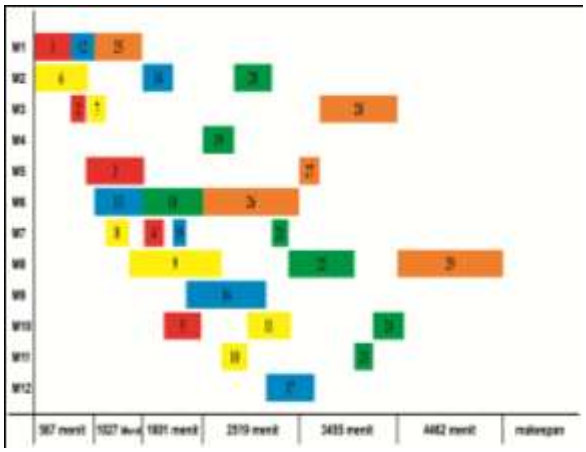
Pada kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin, digunakan posisi kucing seperti Gambar 4 sebagai salah satu kucing dalam menerapkan algoritma CSO. Kombinasi parameter-parameter yang digunakan yaitu MR = 0,5 ; SMP = 1 ; SRD = 0,4 ; CDC = 0,6 ; C1 = 1 ; R = [0,1]. Simulasi dilakukan hanya sekali dengan banyak kucing dan banyak iterasi yang sama seperti pada kasus 3 *job* – 2 mesin. Hasil yang diperoleh dari algoritma CSO dalam menyelesaikan kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Simulasi Algoritma CSO Pada Kasus Penjadwalan 5 *Job* – 12 Mesin.

Jumlah Kucing	**Iterasi**	***Makespan***	***Running Time***	**Posisi Kucing**
N kucing = 30	500	4462	1,0781	1-2-3-…-28-29
	1000	4462	2,0625	1-2-3-…-28-29
	2000	4462	4	1-2-3-…-28-29
N kucing = 50	500	4462	1,6875	1-2-3-…-28-29
	1000	4462	3,3125	1-2-3-…-28-29
	2000	4462	6,5625	1-2-3-…-28-29

Dari Tabel 5 terlihat bahwa simulasi dengan jumlah kucing dan jumlah iterasi yang berbeda menghasilkan *makespan* yang sama yaitu 4462 menit. Sedangkan dari *running time* terlihat bahwa semakin bertambah jumlah kucing dan jumlah iterasi yang digunakan, semakin lama *running time* yang diperlukan.

Makespan dari hasil simulasi algoritma CSO pada kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin adalah 4462 menit dengan solusi penjadwalan [1-2-3-…-28-29], seperti diperlihatkan pada GANT chart di Gambar 7.



Gambar 7. Gant Chart Solusi Kasus Penjadwalan 5 *Job* – 12 Mesin

Hasil ini menunjukan bahwa *makespan* terkecil yang dapat diperoleh oleh algoritma CSO hanya sampai 4462 menit. CSO tidak bisa memperoleh hasil yang lebih optimal dari solusi JSSP awal yang *valid* kasus penjadwalan 5 *job* – 12 mesin dengan asumsi dan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa algoritma CSO efektif dalam menyelesaikan kasus nyata JSSP untuk penjadwalan 5 *job* – 12 mesin di industri peralatan pengolahan hasil pertanian CV Mitra Niaga Indonesia, Bogor. Dalam mengimplementasikan algoritma CSO pada kasus JSSP, pemilihan nilai parameter yang tepat dapat menghasilkan solusi yang optimal. Selain itu, semakin besar jumlah *job* dan mesin yang digunakan maka semakin sulit dan rumit permasalahan JSSP yang harus diselesaikan.

Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan pada penelitian ini mengenai hasil dan metode yang digunakan adalah :

1. Solusi awal untuk algoritma CSO dapat dibuat secara acak atau dengan menggunakan metode tertentu. Pembuatan solusi acak awal berpeluang menghasilkan solusi yang tidak *valid*, terutama pada kasus yang berukuran besar. Oleh karena itu, untuk solusi awal dibuat menggunakan metode tertentu yang dapat menghasilkan solusi awal yang *valid*.
2. Dalam meyelesaikan kasus JSSP diperlukannya modifikasi metode CSO untuk dapat mencari solusi yang lebih optimal pada kasus dengan jumlah dimensi kucing yang besar. Perlu ditambahkan batasan pada *random* yang dijalankan metode CSO, dimana operasi awal pada setiap *job* diprioritaskan dari operasi berikutnya. Sehingga *random* yang dijalankan oleh metode CSO tidak merusak urutan operasi setiap *job*.

DAFTAR PUSTAKA

Bouzidi, A., & Riffi, M. E., 2014. Cat Swarm Optimization to Solve Job Shop Scheduling Problem. *IEEE*, 202-205.

Chu, S.-C., & Tsai, P.-W., 2007. Computanial Intelligence Based On The Behavior Of Cats. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 163-173.

Pratama, H. A., 2009. Optimasi Permasalahan Penjadwalan Job Shop Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization Yang Dimodifikasi. http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100010038113/8785/penjadwalan-job-shop. Diakses pada 18 April 2015

Satrio, A. B., 2007. Optimasi Masalah Penjadwalan Job-Shop Untuk Industri Peralatan Pengolahan Hasil Pertanian Dengan Menggunakan Algoritma Genetika. http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/2514. Diakses pada 18 April 2015

Suyanto. 2010. *Algoritma Optimasi Deterministik atau Probabilitik.* Yogyakarta: Graha Ilmu.