

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *PARTICLE SWARM*  
*OPTIMIZATION* GUNA MINIMASI *WAITING TIME* DAN  
MINIMASI *MAKESPAN* PADA INDUSTRI KULIT**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Shofiyyah Qonita  
No. Mahasiswa : 19522308

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.



## SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS  
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100  
F. (0274) 895007  
E. [fti@uii.ac.id](mailto:fti@uii.ac.id)  
W. [fti.uii.ac.id](http://fti.uii.ac.id)

### SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 170/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/XI/2023

*Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh*

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Shofiyah Qonita

Nim : 19522308

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D.,IPM.

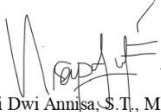
Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul "**IMPLEMENTASI ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION GUNA MINIMASI WAITING TIME DAN MINIMASI MAKESPAN PADA INDUSTRI KULIT**" mulai pelaksanaan penelitian 7 Juni 2023 sampai 2 November 2023.

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh*

Yogyakarta, 09 November 2023

Kepala Laboratorium  
Sistem Manufaktur Terintegrasi

  
Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *PARTICLE SWARM*  
*OPTIMIZATION* GUNA MINIMASI *WAITING TIME* DAN  
MINIMASI *MAKESPAN* PADA INDUSTRI KULIT**



**Yogyakarta, 09 November 2023**

**Dosen Pembimbing**

**(Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM)**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* GUNA  
MINIMASI *WAITING TIME* DAN MINIMASI *MAKESPAN* PADA INDUSTRI  
KULIT**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Shofiyyah Qonita**

**No. Mahasiswa : 19 522 308**

**Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk  
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta, 24 - November – 2023**

**Tim Penguji**

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Ketua

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.

Anggota I

Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM

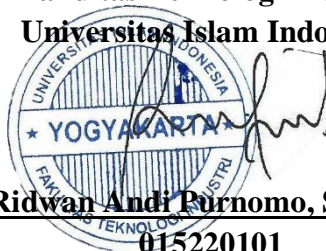
Anggota II

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Universitas Islam Indonesia**



**Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.**

**015220101**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

### *Bismillahirrahmanirrahim*

Atas izin Ridha Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, saya ingin mempersembahkan karya tulis ini untuk kedua orang tua saya yaitu Ayah Idi Mahdi, S.T dan Bunda Tia Setiati, S.E yang tiada hentinya untuk memberikan do'a dan dukungan kepada saya. Terima kasih atas segala pengorbanan dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis supaya selalu diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan karya tulis ini. Selain itu, kepada sahabat penulis yang telah banyak memberi masukan dan semangat secara langsung maupun tidak langsung.

## **MOTTO**

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(Q.S Al-Baqarah : 286)

“Ya Rabbku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku.”

(QS. Thaha : 25-28)

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillahirabbil'alamin*, puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir. Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi *Muhammad Shalallahu'alaihi Wasallam* yang telah membimbing manusia dari zaman kebodohan sampai zaman yang penuh dengan ilmu ini.

Penulis mengharapkan dengan pengerjaan laporan tugas akhir yang berjudul “Implementasi Algoritma *Particle Swarm Optimization* Guna Minimasi *Waiting Time* Dan Minimasi *Makespan* Pada Industri Kulit” dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, pihak kampus, dan bagi perusahaan. Dalam penulisan ini, penulis sadari bahwa tanpa bantuan dari banyak pihak maka proses penyelesaian laporan ini tidak akan berjalan dengan baik. Banyak sekali bantuan, dukungan, semangat, serta do'a yang diberikan demi terselesaikannya penelitian tugas akhir ini. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya penulis diberikan kesehatan serta kelancaran dalam pelaksanaan dan pembuatan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia dan selaku dosen pembimbing penelitian tugas akhir yang telah memberikan waktu dan tenaganya untuk membimbing penulis dalam pengerjaan penelitian ini.
4. Kedua orang tua penulis Ayah Idi Mahdi, S.T dan Bunda Tia Setiati S.E, adik Muhammad Muad'z Al-Afif, Fawwaz Mahfuuzh Alabraar dan beki yang selalu memberikan semangat, perhatian, kasih sayang, nasihat, dan do'a kepada penulis.



5. Sahabat-sahabat penulis semasa kuliah yaitu, Inna, Ade, Tika, Gina, Rara, Dhela, Rama, Chandra, Daihan, Ramdhani, Hapis yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
6. Sahabat-sahabat penulis sejak SMA yaitu, Arina Falabiba, Sonia Nanda Shafara, Bagus Herlambang, Iman Nurachman, Dilal Raihan Ramadan, dan Ghazia Rifqi yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Partner penulis yaitu, Hibrizi Fatih Ardiwal yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan bantuan kepada penulis semasa penelitian hingga pengerjaan penelitian tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan kerja praktik ini masih jauh dari kata sempurna, masih banyak kesalahan dalam penulisan maupun isi dari laporan ini. Oleh karena itu, kritik yang membangun serta saran sangat penulis harapkan sehingga menjadi pedoman dalam penulisan laporan agar lebih baik lagi. Semoga semua bantuan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan pahala dari Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* dan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca di kemudian hari, Aamiin.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Yogyakarta, 24 November 2023



Shofiyyah Qonita  
NIM 19522308

## ABSTRAK

Perusahaan Industri Kulit X merupakan perusahaan yang menerapkan penjadwalan produksi *Make To Stock* menggunakan pola aliran produksi sistem *flow shop*. Parameter keberhasilan perusahaan ini adalah meningkatkan produktivitas dan menginginkan proses produksi supaya efektif dan efisien. Diperlukan 6 mesin produksi dan 17 pekerjaan untuk menunjang kebutuhan proses produksinya, namun dengan banyaknya pekerjaan dan terbatasnya sumber daya mengakibatkan adanya waktu tunggu produksi karena pekerjaan datang secara bersamaan dan diproses melalui antrian sehingga waktu produksi menjadi lebih lama, menyebabkan produktivitas perusahaan menurun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui usulan urutan pekerjaan dan untuk mengetahui nilai minimum *makespan* serta nilai *waiting time*. Tujuan penelitian ini diperoleh menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* untuk melakukan penjadwalan produksi. Penelitian ini membutuhkan data urutan proses produksi setiap material dan waktu proses produksi setiap material di tiap mesin. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *software Microsoft Excel*. Hasil daripada penelitian ini adalah Algoritma PSO memberikan hasil yang optimal untuk penjadwalan produksi perusahaan dengan usulan urutan pekerjaan J13 – J12 – J14 – J11 – J15 – J7 – J17 – J6 – J10 – J2 – J4 – J3 – J1 – J9 – J5 – J8 – J16, nilai *makespan* perusahaan sebesar 35744,99 detik atau 9 jam, minimasi total *waiting time* sebesar 179995,7 detik atau 50 jam dengan rata-rata *waiting time* 2 jam. Selisih nilai *makespan* dan *waiting time* penjadwalan perusahaan dengan penelitian ini yang menggunakan Algoritma PSO sebesar 8585,32 detik atau apabila dipersentasikan terjadi penurunan 24%.

**Kata Kunci:** Penjadwalan Produksi, *Job Sequence*, Minimasi *Waiting Time*, Minimasi *Makespan*, Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
MOTTO .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.4.1 Bagi Peneliti.....	4
1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi.....	4
1.4.3 Bagi Perusahaan.....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Literatur .....	6
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Penjadwalan Produksi.....	12
2.2.2 Elemen Penjadwalan Produksi .....	13
2.2.3 Istilah dan Kriteria Penjadwalan Produksi.....	13
2.2.4 Klasifikasi Penjadwalan Produksi .....	15
2.2.5 Minimasi Makespan dan Waiting Time .....	17
2.2.6 Metode Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO).....	17
2.2.7 Prosedur Penggunaan Algoritma PSO .....	20
2.2.8 Software Microsoft Excel .....	22
BAB III METODE PENELITIAN .....	23
3.1 Objek Penelitian .....	23
3.2 Jenis Data Penelitian .....	23
3.3 Alur Penelitian .....	24
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....	28
4.1 Proses Produksi Perusahaan .....	28
4.2 Pengumpulan Data .....	31

4.2.1	Data Cycle Time .....	31
4.2.2	Penjadwalan Perusahaan .....	32
4.3	Pengolahan Data .....	34
4.3.1	Menentukan Parameter.....	35
4.3.2	Membangkitkan Bilangan Random.....	35
4.3.3	Mengurutkan Urutan Pekerjaan Serta Menghitung Makespan dan Waiting Time .....	39
4.3.4	Menghitung Posisi Partikel (Z).....	47
4.3.5	Menghitung Nilai Fitness.....	48
4.3.6	Menentukan Personal Best dan Global Best.....	49
4.3.7	Update Nilai Velocity.....	51
4.3.8	Update Posisi Partikel .....	62
4.3.9	Update Iterasi.....	66
4.3.10	Stopping Criteria.....	101
BAB V	ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....	102
5.1	Analisa Penjadwalan Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	102
5.2	Analisa Perbandingan Penjadwalan Algoritma PSO dengan Penjadwalan Perusahaan .....	108
5.3	Analisa Keunggulan dan Kelemahan Model Penjadwalan Algoritma PSO... ..	109
BAB VI	PENUTUP .....	110
6.1	Kesimpulan.....	110
6.2	Saran .....	110
DAFTAR PUSTAKA	.....	111
LAMPIRAN	.....	114

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Research Gap</i> Penelitian.....	10
Tabel 4. 1 Jenis Produk dan Urutan Pengerjaan.....	28
Tabel 4. 2 Data <i>Cycle Time</i> .....	31
Tabel 4. 3 Penjadwalan Perusahaan .....	32
Tabel 4. 4 Bilangan Random ( $X_{0,0}$ ) Iterasi 0 .....	36
Tabel 4. 5 <i>Job Sequence</i> Iterasi 0.....	39
Tabel 4. 6 Nilai <i>Makespan</i> Partikel 1 Iterasi 0 .....	41
Tabel 4. 7 Nilai <i>Makespan</i> Partikel 2 Iterasi 0 .....	43
Tabel 4. 8 Nilai <i>Makespan</i> dan Total <i>Waiting Time Particle</i> Iterasi 0 .....	45
Tabel 4. 9 Nilai <i>Z</i> Iterasi 0.....	47
Tabel 4. 10 Nilai <i>Fitness</i> Iterasi 0 .....	48
Tabel 4. 11 <i>Pbest Gbest</i> Iterasi 0 .....	49
Tabel 4. 12 Bilangan Random (R1) Iterasi 0.....	52
Tabel 4. 13 Bilangan Random (R2) Iterasi 0.....	55
Tabel 4. 14 <i>Update Velocity</i> Iterasi 0.....	59
Tabel 4. 15 <i>Update</i> Posisi Partikel Iterasi 0 .....	63
Tabel 4. 16 Bilangan Random ( $X_{0,0}$ ) Iterasi 1 .....	67
Tabel 4. 17 <i>Job Sequence</i> Iterasi 1 .....	70
Tabel 4. 18 Nilai <i>Makespan</i> Partikel 1 Iterasi 1 .....	72
Tabel 4. 19 Nilai <i>Makespan</i> Partikel 2 Iterasi 1 .....	74
Tabel 4. 20 Nilai <i>Makespan</i> dan Total <i>Waiting Time Particle</i> Iterasi 1 .....	77
Tabel 4. 21 Nilai <i>Z</i> Iterasi 1 .....	79
Tabel 4. 22 Nilai <i>Fitness</i> Iterasi 1 .....	80
Tabel 4. 23 <i>Pbest</i> dan <i>Gbest</i> Terbaru.....	81
Tabel 4. 24 Bilangan Random (R1) Iterasi 1 .....	84
Tabel 4. 25 Bilangan Random (R2) Iterasi 1 .....	87
Tabel 4. 26 <i>Update Velocity</i> Iterasi 0.....	90
Tabel 4. 27 <i>Update Velocity</i> Iterasi 1.....	94
Tabel 4. 28 <i>Update</i> Posisi Partikel Iterasi 1 .....	98
Tabel 5. 1 Nilai <i>Makespan</i> dan <i>Waiting Time</i> Terbaik .....	104
Tabel 5. 2 Perbandingan <i>Sequencing</i> Perusahaan dengan PSO .....	108
Tabel 5. 3 Perbandingan Waktu Penjadwalan Perusahaan dengan PSO .....	108

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 2 Penjadwalan Produksi <i>Job Shop</i> .....	15
Gambar 2. 3 Penjadwalan Produksi <i>Flow Shop</i> .....	16
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	24
Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi .....	29
Gambar 5. 1 <i>Gbest</i> 1000 Iterasi.....	103
Gambar 5. 2 <i>Gantt Chart</i> Penjadwalan Terbaik.....	107

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Persaingan yang semakin ketat di pasar global membuat banyak perusahaan khususnya industri manufaktur menghadapi beragam kesulitan untuk dapat bersaing dengan kompetitornya. Badan Pusat Statistik mencatat terdapat sekitar 30 ribu perusahaan industri manufaktur skala menengah dan besar di Indonesia pada tahun 2022. Industri manufaktur adalah suatu bisnis yang mengolah *raw material* menjadi produk jadi atau setengah jadi dengan menggunakan mesin maupun tanpa menggunakan mesin. Sebanyak 30 ribu perusahaan industri manufaktur semua manajemen perusahaan mengharapkan pekerjaan mereka berjalan dengan baik, sehingga mempermudah perusahaan dalam bersaing dan beradaptasi di setiap perubahan bisnisnya.

Proses terpenting dari industri manufaktur adalah proses produksinya, dan salah satu bagian terpenting dari proses produksi adalah pengendalian produksi (Sukamto, 2020). Pengendalian produksi juga dianggap sebagai salah satu parameter keberhasilan perusahaan, sehingga perusahaan dapat bersaing dengan kompetitor bisnis. Pengendalian produksi adalah kegiatan yang dilakukan oleh manajemen perusahaan untuk mengawasi, mengelola, dan mengatur sumber daya proses produksi yang menghasilkan waktu dan biaya produksi seminimal mungkin. Pengendalian produksi yang baik memperhatikan beberapa aspek seperti perencanaan produksi, manajemen kualitas, dan penjadwalan produksi. Semua elemen pengendalian produksi penting dan berhubungan satu dengan yang lainnya. Aspek penting dalam pengendalian produksi adalah dengan memaksimalkan penjadwalan produksi, hal ini bertujuan supaya perusahaan dapat meminimasi total waktu produksi, dan meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya (manusia, mesin, material) sehingga besar pengeluaran biaya produksi, perusahaan dapat meminimumkannya.

Perusahaan yang diteliti dalam penelitian ini adalah perusahaan Industri Kulit X. Dalam menunjang kebutuhan proses produksi perusahaan diperlukan 6-mesin produksi dengan 17-pekerjaan (*job*). Pola aliran produksi yang dilakukan oleh perusahaan berbentuk *flowshop* dengan mesin seri. *Flowshop* adalah sistem produksi yang menghasilkan produknya dengan pola aliran atau urutan proses yang serupa dan pekerjaan membutuhkan urutan mesin yang sama. Selain itu, perusahaan ini menerapkan sistem penjadwalan produksi *Make To Stock* karena parameter keberhasilan dari perusahaan adalah meningkatkan produktivitas dan menginginkan supaya proses produksi dalam perusahaan berjalan dengan efektif dan efisien. Keunggulan lain dari penjadwalan produksi yang menerapkan sistem *Make To Stock* (MTS) adalah perusahaan cepat tanggap dalam memenuhi permintaan konsumen, perencanaan persediaan menjadi lebih mudah karena permintaan stabil dan mudah diprediksi, serta dapat menurunkan biaya tenaga kerja.

Pada kenyataannya, penerapan penjadwalan produksi sistem *Make To Stock* (MTS) di perusahaan ini belum sepenuhnya efektif dalam meningkatkan produktivitas. Terlihat ketika penjadwalan produksi yang tidak efektif dan tepat menyebabkan adanya *Work In Process* (WIP) yang terjadi di stasiun kerja yang pada akhirnya dapat menurunkan produktivitas. Ketika produk masih belum selesai diproduksi atau dalam proses produksi, dianggap sebagai barang setengah jadi (*semi-finished goods*) atau dengan kata lain *Work In Process* (WIP) adalah persediaan barang setengah jadi (*semi-finished goods*). WIP dapat menyebabkan terjadinya waktu tunggu (*waiting time*) yang lama karena adanya pekerjaan (*job*) yang datang secara bersamaan ke mesin produksi, maka *job* akan dikerjakan melalui antrian melihat alur produksi dalam perusahaan ini berbentuk *flow shop* mesin seri. Permasalahan *waiting time* yang terlalu lama akan meningkatkan probabilitas kerusakan produk dan menyebabkan total waktu produksi atau *makespan* semakin panjang karena telah terjadinya deteriorasi. Munculnya deteriorasi diakibatkan karena penyimpanan yang terlalu lama. Deteriorasi adalah penurunan kualitas produk sehingga menyebabkan penurunan kegunaan produk. Selain itu, *waiting time* menyebabkan total waktu produksi atau *makespan* menjadi tinggi, sulitnya mempertahankan biaya produksi yang rendah, dan tidak dapat menghemat tenaga kerja. Hal ini tentu menyebabkan produktivitas perusahaan menurun.

Usaha meningkatkan *output* dalam sistem *Make To Stock* dilakukan dengan minimasi total waktu produksi atau *makespan*. Dilakukannya minimasi *makespan* akan



meningkatkan produktivitas perusahaan. Minimasi *makespan* adalah minimasi total waktu produksi untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dijadwalkan, dari pekerjaan pertama diproses pada mesin pertama hingga pekerjaan terakhir diproses pada mesin terakhir. Minimasi *makespan* cenderung menghasilkan *waiting time* yang lebih singkat. Usaha yang ditempuh dalam minimasi *makespan* adalah membuat penjadwalan proses produksi dengan menentukan urutan pekerjaan atau *job sequence*.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dipaparkan, perlu adanya sistem penjadwalan yang tepat dengan harapan perusahaan dapat meningkatkan produktivitasnya, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan efektif dan efisien juga diharapkan dapat meminimalisir biaya produksi ataupun kerugian yang akan didapatkan. Banyak metode yang digunakan dalam meminimasi *makespan* dan membantu membuat penjadwalan produksi urutan pekerjaan, dalam penelitian (Wu et al., 2022) bahwa algoritma PSO unggul dibandingkan enam algoritma meta-klasik lainnya. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Puspitasari, 2012) menghasilkan bahwa penggunaan algoritma PSO untuk studi kasus penjadwalan *flow shop* 7-mesin 20-*job* dapat menyelesaikan penjadwalan produksi. Penelitian yang dilakukan oleh (Muharni et al., 2019) menyebutkan bahwa penyelesaian penjadwalan produksi dengan tujuan minimasi *makespan* menggunakan metode Algoritma PSO dalam pengaplikasiannya sederhana namun mempunyai kinerja yang baik. Selain itu, Algoritma PSO juga dapat mengatasi penjadwalan produksi dengan banyaknya jumlah *job*. Maka dari itu, algoritma PSO dapat menyelesaikan permasalahan penjadwalan produksi sehingga dapat menghasilkan *makespan* minimum yang lebih baik daripada nilai *makespan* awal perusahaan yaitu 44330,31 detik = 12,314 jam juga nilai rata-rata *waiting time* 19300 detik = 5,36 jam. Pemilihan penggunaan algoritma PSO penting pada penelitian karena diperlukan dalam mengatasi ragam ( $m$ ) mesin dan ( $n$ ) pekerjaan yang kompleks. Permasalahan penjadwalan produksi muncul karena banyaknya pekerjaan atau *job* yang harus diproses namun terdapat keterbatasan dalam penggunaan mesin. Sehingga, perlunya dilakukan penjadwalan produksi yang tepat.

Berdasarkan latar belakang dari pemaparan permasalahan yang terjadi, tujuan dilakukannya penelitian ini untuk meminimasi *makespan* (total waktu keseluruhan produksi) dan minimasi *waiting time* dengan memberikan usulan urutan pekerjaan atau *job sequencing* penjadwalan produksi *flow shop*. Upaya untuk mencapai tujuan tersebut dapat menggunakan metode algoritma *Particle Swarm Optimization*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa hasil minimasi *makespan* dan total *waiting time* dari penjadwalan produksi menggunakan metode Algoritma *Particle Swarm Optimization*?
2. Bagaimana usulan urutan *job sequence* pada penjadwalan produksi yang optimal sehingga dapat meminimasi *makespan*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui nilai *makespan* minimum dan total *waiting time* minimum dari penjadwalan produksi menggunakan metode Algoritma *Particle Swarm Optimization*.
2. Mengetahui urutan *job sequence* pada penjadwalan produksi sehingga dapat meminimasi *makespan*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dalam penelitian ini yaitu:

### 1.4.1 Bagi Peneliti.

Manfaat yang didapatkan bagi peneliti yaitu:

1. Mengukur kemampuan dan keterampilan yang dimiliki untuk meningkatkan kemampuan dan keterampilan.
2. Mengimplementasikan ilmu teori Teknik Industri dari bangku perkuliahan pada permasalahan sistem nyata.

### 1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi.

Manfaat yang didapatkan bagi perguruan tinggi yaitu:

1. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penggunaan Algoritma PSO dalam memperbaiki penjadwalan produksi.

### 1.4.3 Bagi Perusahaan.

Manfaat yang didapatkan bagi perusahaan yaitu:

1. Hasil analisis dari penelitian dapat dijadikan masukan bagi pihak perusahaan untuk membantu perusahaan dalam menentukan kebijakan di masa yang akan datang.

## 1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pekerjaan yang sedang dilakukan tidak dapat diinterupsi dengan pekerjaan baru.
2. Tidak mempertimbangkan biaya.
3. Tidak mempertimbangkan faktor deteriorasi.
4. Semua mesin siap digunakan dalam keadaan baik, tidak ada *maintenance* mesin.
5. Tidak ada *due date* dalam proses produksi.
6. Proses penjadwalan produksi dilakukan tanpa menentukan *starting time* mesin produksi.
7. Jarak dan waktu transportasi diasumsikan tidak ada.
8. Tidak ada *batch* produksi sehingga tidak mempengaruhi usulan penjadwalan produksi yang diberikan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur berisi rangkuman penelitian terdahulu merujuk topik maupun metode berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Kajian literatur dilakukan untuk mengetahui perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian yang sudah dilakukan. Berikut merupakan rangkuman literatur yang mencakup topik dan metode penelitian yang relevan:

Penelitian yang dilakukan oleh (Panjaitan et al., 2021) dengan judul “Minimasi *Makespan* Pada Persoalan Penjadwalan *Ordered Flowshop* Menggunakan PSO” tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan urutan jadwal pengalokasian ragam pekerjaan ke dalam mesin yang tersedia untuk mendapatkan minimum *makespan*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil dari penelitian ini adalah menggunakan jumlah partikel sebanyak 50 partikel. Melakukan uji scenario menggunakan data *benchmark* sebanyak 240 jadwal dengan variasi jumlah mesin dan variasi jumlah pekerjaan. Dihilangkan penjadwalan 50 mesin dan 5 pekerjaan, sebanyak 19 iterasi menghasilkan *makespan* minimum 3241 dengan 2,91 (s). Hal ini menunjukkan bahwa penjadwalan *ordered flowshop* menggunakan algoritma PSO terbilang efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh (Irwan, 2021) dengan judul “Metode Minimasi *Makespan* Dengan Menghilangkan Waktu Tunggu Pada Penjadwalan *Job Shop*” bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan waktu tunggu pada mesin produksi yang menggunakan *job sequence* supaya pengiriman produk ke pelanggan lebih cepat atau tepat waktu jika proses produksi diselesaikan dengan cepat. Penelitian ini menggunakan metode komparatif dengan cara membandingkan sistem penjadwalan yang ada di perusahaan. Metode ini menggunakan pengembangan model dan pengujian *trial and error*. Hasil dari penelitian ini menggunakan 3 kali percobaan dengan simulasi mesin parallel dan mesin series. Hasil terbaik terdapat pada percobaan kedua dengan jumlah 10 lot menggunakan

mesin paralel menghasilkan *lead time* 430,5 jam, mesin seri menghasilkan *lead time* 426,5 jam. Jika mesin disusun secara paralel tidak adanya waktu tunggu mesin, namun adanya waktu tunggu produksi. Mesin yang dirancang paralel memberikan solusi terbaik ketika prioritas pekerjaan diurutkan berdasarkan waktu mesin terlama, begitupun sebaliknya mesin yang dirancang series memberikan solusi terbaik ketika prioritas pekerjaan diurutkan berdasarkan waktu mesin tercepat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Prasisti et al., 2023) dengan judul “Optimasi Penjadwalan Produksi Untuk Meminimalkan *Makespan* Dengan Pendekatan *Particle Swarm Optimization* Dan *Genetic Algorithm*” bertujuan untuk mendapatkan penjadwalan produksi dengan nilai *makespan* yang minimum. Metode PSO dan metode AG dilakukan melalui *software* Matlab. Hasil penjadwalan menggunakan metode AG memiliki nilai *makespan* sebesar 281 menit, sedangkan hasil penjadwalan menggunakan metode PSO memiliki nilai *makespan* sebesar 273 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan metode yang dianggap paling cocok untuk menentukan penjadwalan produksi karena memiliki nilai *makespan* yang paling rendah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sofa et al., 2019) dengan judul “Meminimasi *Makespan* Pada Penjadwalan *Flow Shop* Mesin Paralel Produk *Steel Bridge* B-60 Menggunakan Metode *Longest Processing Time* Dan *Particle Swarm Optimization* ” penelitian ini bertujuan untuk meminimasi *makespan* pada penjadwalan *flow shop* mesin *Steel Bridge* B-60. Penelitian ini menggunakan dua metode yaitu metode LPT dan PSO yang nanti hasilnya akan dibandingkan metode mana yang lebih baik dalam meminimasi *makespan*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah metode PSO lebih baik daripada metode LPT karena nilai *makespan* dari hasil metode PSO lebih kecil yaitu sebesar 8,394 menit dibandingkan dengan nilai *makespan* dari hasil metode LPT yaitu sebesar 9,180 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh (Oktiandri., 2019) dengan judul “Usulan Penjadwalan *Job Machine* Seri Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) Untuk Meminimasi *Makespan* di UD. Wira Vulkanisir” penelitian ini bertujuan untuk membuat jadwal pekerjaan mesin untuk minimasi *makespan* supaya masalah perusahaan dalam keterlambatan pengiriman produk kepada *customer* dapat teratasi. Metode pada penelitian ini menggunakan metode CDS, dibutuhkan data penelitian berupa data produk, waktu proses produksi setiap material, dan data permintaan. Hasil pada penelitian ini membandingkan metode CDS dengan metode aktual perusahaan, didapatkan hasil dengan metode aktual

perusahaan dengan *makespan* sebesar 306,78 jam dan hasil dengan metode CDS dengan *makespan* sebesar 289,49 jam. Terbukti metode CDS lebih optimal dibandingkan menggunakan aktual perusahaan karena dapat meningkatkan proses produksi sebesar 5,6%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Maisazahra et al., 2022) dengan judul “*Identical Parallel Machine Scheduling To Minimize Makespan Using Suggested Algorithm At XYZ Company*” bertujuan untuk mengurangi waktu produksi dengan mengusulkan waktu penjadwalan produksi melalui teknik algoritma yang diusulkan. Metode yang diusulkan pada penelitian ini menggunakan algoritma *Longest Processing Time* (LPT) dibantu melalui *software* PyCharm dengan menentukan batas atas dan batas bawah. Hasil daripada penelitian ini adalah nilai *makespan* dapat dikurangi dengan hasil kondisi aktual dari ketiga mesin 1.469.412 detik setara dengan 26 hari menjadi 914.412 detik setara dengan 16 hari, hasil ini menunjukkan bahwa nilai *makespan* dapat dikurangi sebesar 38%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Almarfadi et al., 2020) dengan judul “*Tabu Search And Particle Swarm Optimization Algorithms For Two Identical Parallel Machines Scheduling Problem With A Single Server*” bertujuan untuk meminimumkan *makespan*. Penelitian ini membandingkan tiga algoritma yaitu Algoritma Genetika (AG), Algoritma Annealing Simulasi (SA) dan algoritma IL sebagai tolak ukur dengan penelitian yang dilakukan. Hasil daripada penelitian ini adalah algoritma yang diusulkan menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritma TS dan PSO bekerja dengan baik dalam meminimumkan *makespan* dapat digunakan hingga 1000 pekerjaan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Febianti et al., 2018) dengan judul “*Usulan Penjadwalan Produksi Palet Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization Untuk Meminimasi Makespan*” bertujuan untuk mengusulkan urutan pekerjaan terbaik sehingga mendapatkan minimum *makespan*. Metode ini menggunakan metode PSO dengan tiga parameter. Hasil dari penelitian ini adalah dengan menggunakan rekomendasi parameter ke-1 menghasilkan *makespan* 13474,25 menit dengan urutan pekerjaan J5-J2-J3-J6-J4-J1.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nduru & Purba, 2021) dengan judul “*Combination Of ACO And PSO To Minimize Makespan In Ordered FlowShop Scheduling Problems*” bertujuan untuk memecahkan permasalahan penjadwalan sehingga dapat meminimasi *makespan*. Penelitian ini menggabungkan dua metode yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma

ACO-PSO dapat memberikan solusi penjadwalan yang baik dan menghasilkan scenario pengujian sebanyak 76 *instance* dari total 600 *instance*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Babor et al., 2021) dengan judul “*Optimization Of No-Wait FlowShop Scheduling Problem In Bakery Production With Modified PSO, NEH, And SA*” berfokus pada optimalisasi jadwal produksi dengan menggunakan model yang diusulkan. Jadwal produksi dan biaya produksi dapat diusulkan untuk meminimasi *makespan*. Hasil dari penelitian ini adalah jadwal produksi optimal diperoleh menggunakan metode MPSO, hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai *makespan* menghasilkan 675 menit dari jadwal yang ada (968 menit) dan berhasil menekankan biaya sebesar 16,3%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sofa, 2020) dengan judul “*The Application of LPT, CEGA, And PSO Method On Flow Shop Scheduling With Parallel Machines*” bertujuan untuk mengatasi masalah keterlambatan dalam mengirimkan pesanan ke pelanggan tepat waktu, maka dari itu penelitian ini akan mengatasi masalah tersebut dengan meminimasi total waktu produksi atau *makespan* dengan pengaturan mesin paralel. Penelitian ini menggunakan metode *Longest Processing Time* (LPT), *Cross-Entropy Genetic Algoritihm* (CEGA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rekomendasi yang diberikan adalah metode PSO dengan hasil *makespan* 8,394 menit dengan urutan pekerjaan *job 5 – job 2 – job 1 – job 4 – job 3*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Agung et al., 2023) dengan judul “Implementasi Metode *Hybrid Particle Swarm Optimization* dan *Genetic Algorithm* Pada Penjadwalan *Job Shop Scheduling*” bertujuan untuk meminimumkan *makespan* supaya dapat meminimumkan biaya produksi. Penelitian ini juga mengusulkan rekomendasi penjadwalan *job shop* menggunakan dua metode yaitu *Genetic Algorithm* dan *Hybrid Particle Swarm Optimization*. Hasil daripada penelitian ini adalah total waktu produksi adalah 29 hari dan mengeluarkan biaya operasional sebesar Rp 21.085.198.

Penelitian yang dilakukan oleh (Haryono, 2018) dengan judul “Analisa Penjadwalan Produksi Untuk Memperoleh Waktu Dan Biaya Yang Minimal Pada UD. MITRA JAYA SIDOARJO” bertujuan untuk mengusulkan penjadwalan produksi yang efektif dan efisien supaya tidak terjadi penumpukan pekerjaan yang mengakibatkan *waiting time* proses produksi. Penelitian ini menggunakan tiga metode untuk dilihat perbandingannya, di antara ketiga metode tersebut adalah CDS, Palmer, dan *Dannenbring*. Berdasarkan analisis dari penelitian ini adalah metode CDS lebih optimal, menghasilkan urutan pekerjaan (*Job B –*

*Job A*) dengan nilai *makespan* terkecil 302,645 dan mengeluarkan biaya produksi Rp. 22.176.000.

Penelitian yang dilakukan oleh (Hanindia et al., 2022) dengan judul “Analisis Perbandingan Algoritma Genetika dan *Modified Improved Particle Swarm Optimization* Dalam Penjadwalan Mata Kuliah” bertujuan untuk membandingkan Algoritma Genetika dengan Algoritma MIPSO dalam memberikan rekomendasi jadwal kuliah yang optimal. Hasil dari penelitian ini adalah Algoritma MIPSO memberikan rekomendasi jadwal kuliah yang optimal juga memberikan rekomendasi jadwal kuliah tanpa adanya bentrok dibandingkan menggunakan Algoritma Genetika, dengan hasil rata-rata waktu 190,281 detik sementara Algoritma Genetika memberikan hasil rata-rata waktu sebesar 988,199 detik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Khasanah et al., 2019) dengan judul “*Minimizing Makespan On FlowShop Scheduling Using Campbel Dudek and Smith, Particle Swarm Optimization, and Proposed Heuristic Alghorithm*” bertujuan untuk meminimasi *makespan* supaya tidak adanya keterlambatan produksi. Penelitian ini menggunakan tiga metode yaitu CDS, PSO, dan *Heuristic* Algoritma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *heuristic* algoritma lebih baik daripada kedua metode lainnya, dengan hasil *makespan* metode *heuristic* algoritma sebesar 694,64, hasil *makespan* metode metode CDS sebesar 742.87 jam, hasil *makespan* metode PSO sebesar 711.96 jam. Metode *heuristic* algoritma menghasilkan urutan pekerjaan *job 4 – job 5 – job 2 – job 3 – job 1 – job 6*, meskipun begitu metode PSO dapat memberikan hasil yang baik ketika parameternya diubah.

Tabel 2. 1 *Research Gap* Penelitian

No	Penulis	Tahun	Objek	<i>Flow Shop</i>	Minimasi <i>Waiting Time</i>	Minimasi <i>Makespan</i>	Algoritma PSO	Penjadwalan Produksi
1	Panjaitan et al.,	2021	Industry baja	✓	-	✓	✓	✓
2	Irwan	2021	Industry baja	-	✓	✓	✓	✓
3	Prasisti et al.,	2023	Sarung tangan <i>golf</i>	✓	-	✓	✓	✓
4	Sofa et al.,	2019	Industry baja	✓	-	✓	✓	✓



No	Penulis	Tahun	Objek	<i>Flow Shop</i>	Minimasi <i>Waiting Time</i>	Minimasi <i>Makespan</i>	Algoritma <i>PSO</i>	Penjadwalan <i>Produksi</i>
5	Oktiandri et al.,	2019	Mesin produksi	-	-	✓	-	✓
6	Maisazahra et al.,	2022	Mesin produksi	-	-	✓	-	✓
7	Almarfadi et al.,	2020	Mesin produksi	-	-	✓	✓	✓
8	Febianti et al.,	2018	Palet	✓	-	✓	✓	✓
9	Nduru & Purba	2021	Mesin produksi	✓	-	✓	✓	-
10	Pso et al.,	2021	Jadwal produksi roti	-	✓	✓	✓	-
11	Sofa	2020	Mesin produksi	✓	-	✓	✓	✓
12	Agung et al.,	2023	<i>Job Shop</i>	-	-	✓	✓	-
13	Haryono	2018	Sandal gunung	✓	-	✓	✓	✓
14	Hanindia et al.,	2022	Jadwal kuliah	-	-	-	✓	-
15	Khasanah et al.,	2019	Mesin Produksi	✓	-	✓	✓	✓
16	Qonita	2023	Mesin Produksi	✓	✓	✓	✓	✓

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Penjadwalan Produksi.

Pengertian penjadwalan menurut (K. Baker, 1974) merupakan proses untuk melakukan tugas dengan menggunakan sumber-sumber yang tersedia pada waktu yang telah ditetapkan. Penelitian yang dilakukan oleh (Oktiandri et al. 2019) penjadwalan diartikan sebagai alokasi dari sumber daya produksi (manusia, mesin, material) untuk melakukan pekerjaan terhadap waktu. Penjadwalan produksi didefinisikan sebagai pengurutan beberapa pekerjaan yang dikerjakan pada beberapa mesin sehingga dapat menghasilkan perencanaan jadwal produksi yang efektif dan efisien. Penjadwalan yang efektif penting karena memiliki dampak signifikan dapat mengurangi biaya dan meningkatkan produktivitas. Perusahaan yang dapat melakukan penjadwalan produksi artinya perusahaan dapat mengendalikan proses produksi.

Umumnya, penjadwalan produksi dilakukan untuk meminimalkan waktu proses produksi. Pentingnya perusahaan melakukan penjadwalan produksi supaya dapat meningkatkan produktivitas mesin, tidak adanya waktu tunggu mesin maupun waktu tunggu produk, dapat meminimalisir biaya produksi, serta dapat meningkatkan kuantitas produksi perusahaan. Penjadwalan produksi yang kurang optimal juga menyebabkan penurunan kuantitas produk yang dihasilkan oleh perusahaan.

Tujuan penjadwalan produksi dilakukan untuk meningkatkan keuntungan perusahaan. Menurut (Bailey & Bedworth, 1987) dalam penelitian (Kusumo, 2018) keuntungan perusahaan yang didapatkan apabila melakukan penjadwalan produksi antara lain:

- 1) Meminimasi total waktu produksi (makespan) mengoptimalkan penggunaan sumber daya (manusia, mesin, material) untuk meningkatkan produktivitas serta mengurangi waktu tunggu (*waiting time*).
- 2) Mengurangi persediaan barang *semi-finished goods* dengan cara mengurangi waktu tunggu (*waiting time*) produk yang sedang menunggu suatu mesin yang sedang berproses.
- 3) Memberikan usulan yang tepat terkait kapasitas pabrik yang dibutuhkan sehingga membantu dalam mengambil keputusan, dan membantu mencegah peningkatan biaya produksi yang mahal.

### 2.2.2 Elemen Penjadwalan Produksi

Menurut (Pinedo, 2002) dalam (Puspitasari, 2012) terdapat elemen-elemen penjadwalan diantaranya:

1. Jumlah pekerjaan (*job (n)*) dalam penjadwalan.
2. Jumlah mesin (*m*), dalam menyelesaikan proses operasi.
3. *Cycle Time (C<sub>i</sub>)*, merupakan waktu untuk menyelesaikan suatu pekerjaan (*job<sub>i</sub>*)
4. *Makespan*, merupakan waktu untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan (*job*).

### 2.2.3 Istilah dan Kriteria Penjadwalan Produksi.

Terdapat beberapa istilah-istilah dalam penjadwalan produksi yang digunakan sebagai variabel untuk mengukur kinerja dalam penjadwalan (K. R. Baker & Trietsch, 2009). Menurut diantaranya adalah:

- 1) Waktu proses (*processing time*),  $t_i$   
Merupakan waktu yang diperlukan mesin- $m$  dalam mengoperasikan suatu pekerjaan (*job*)- $i$ .
- 2) Waktu siap (*ready time*),  $R_i$   
Merupakan waktu yang menunjukkan ketika suatu pekerjaan (*job*)- $i$  siap untuk di proses.
- 3) Batas waktu penyelesaian (*due date*),  $d_i$   
Merupakan Batasan waktu yang diizinkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan (*job*)- $i$ .
- 4) *Flow Time (F<sub>i</sub>)*  
Disebut dengan waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan suatu order di lantai produksi.

$$F_i = C_i - R_i \quad (2.1)$$

Rata-rata *Flow Time*

$$F_s = \frac{1}{n} \sum F_i \quad (2.2)$$

- 5) Waktu menunggu (*waiting time*),  $W_i$   
Merupakan waktu tunggu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dari pekerjaan operasi pendahulu selesai.

$$W_i = F_i - \sum p_{ij} \quad (2.3)$$

6) Waktu penyelesaian (*completion time*),  $c_i$ 

Merupakan waktu pekerjaan (*job*)- $i$  paling akhir diselesaikan. Biasanya digunakan untuk evaluasi penjadwalan proses produksi.

7) *Makespan* ( $M_s$ )

Merupakan total waktu proses produksi dari pekerjaan awal hingga pekerjaan akhir atau total penyelesaian waktu keseluruhan pekerjaan (*job*) yang dijadwalkan.

$$M_s = \sum_i t_i \text{ atau } M_s = C_{max} \quad (2.4)$$

8) Keterlambatan (*lateness*),  $L_i$ 

Merupakan selisih waktu antara waktu pekerjaan (*job*)- $i$  dengan waktu selesai pekerjaan (*job*). Dengan kata lain, terdapat penyimpangan dari *completion time* atau waktu penyelesaian terhadap *due date* atau batas waktu penyelesaian. Terdapat kemungkinan pekerjaan dapat diselesaikan sebelum batas waktu penyelesaian, atau *lateness negatif* (-) juga terdapat kemungkinan pekerjaan tidak dapat diselesaikan melewati batas waktu penyelesaian, atau *lateness positif* (+).

$$L_i = C_i - d_i \quad (2.5)$$

$L_i < 0$ , penyelesaian memenuhi batas akhir

$L_i > 0$ , penyelesaian tidak memenuhi batas akhir

9) Kelambatan (*tardiness*),  $T_i$ 

*Tardiness* atau *positif lateness* merupakan keterlambatan penyelesaian suatu pekerjaan (*job*)- $i$  dari batas waktu penyelesaian.  $T_i = \max \{0, L_i\}$

Rata-rata *tardiness*

$$T_s = \frac{1}{n} \sum T_j \quad (2.6)$$

10) *Earliness*

*Earliness* atau *negative lateness* merupakan waktu penyelesaian suatu pekerjaan (*job*)- $i$  lebih cepat dari batas waktu penyelesaian.

11) *Slack Time* ( $SL_i$ )

Merupakan sisa waktu yang tersedia suatu pekerjaan (*job*) dari batas waktu penyelesaian.

$$S_i = d_i - t_i \quad (2.7)$$

12) *Set up Time* ( $S_i$ )

Merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan persiapan sebelum dimulainya pemrosesan pekerjaan (*job*).

Kriteria ditentukan sebagai parameter pengambilan keputusan dalam penjadwalan produksi. Menurut (K. R. Baker & Trietsch, 2009) terdapat tiga kriteria yang dipilih untuk pengambilan keputusan penjadwalan produksi:

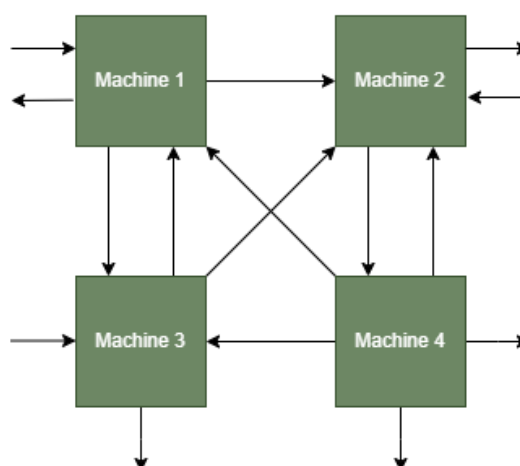
- Pemakaian sumber daya yang efisiensi dapat dicapai dengan minimasi *completion time* (*Makespan*),  $C_{\max} = \max (C_{ij})$
- Mengurangi penumpukan barang setengah jadi dapat dicapai dengan mengurangi rata-rata waktu tinggal (*flow time*) atau meminimasi rata-rata waktu tunggu.
- Mengurangi keterlambatan proses produksi dapat dicapai dengan minimasi rata-rata *tardiness*.

#### 2.2.4 Klasifikasi Penjadwalan Produksi

Menurut (K. Baker, 1974) klasifikasi penjadwalan produksi berdasarkan aliran prosesnya adalah

##### 1. Jenis penjadwalan produksi *job shop*

Penjadwalan produksi *job shop* biasanya umum digunakan oleh industri dengan tipe “*make to order*”. Artinya produk akan dibuat sesuai dengan permintaan konsumen. Penjadwalan produksi *job shop* lebih rumit karena terdapat banyaknya variasi dalam pembuatan produk, sehingga dibutuhkan banyak jenis pekerjaan maupun kebutuhan mesin yang berbeda. Banyaknya variasi terjadi karena hal ini disesuaikan berdasarkan permintaan konsumen.



Gambar 2. 1 Penjadwalan Produksi *Job Shop*  
Sumber: (K. Baker, 1974)

## 2. Jenis penjadwalan produksi *flow shop*

Penjadwalan produksi *flow shop* umum digunakan oleh perusahaan dengan tipe “*make to stock*”. Pengertian “*make to stock*” artinya produk dibuat berdasarkan  $n$  pekerjaan yang diproses pada setiap mesin dengan urutan yang sama atau dalam satu aliran proses produksi. Penjadwalan produksi *flowshop* diartikan sebagai penjadwalan yang dilakukan berdasarkan aliran produksi, mesin yang ada disusun sesuai dengan alur proses produksinya dan setiap pekerjaan (*job*) dilakukan dalam urutan yang sama (Krisnawati, 2011). Produk yang dihasilkan nantinya akan disimpan pada *inventory* perusahaan. Penjadwalan produksi *flow shop* lebih sederhana dibandingkan dengan jadwal produksi *job shop*.



Gambar 2. 2 Penjadwalan Produksi *Flow Shop*

Sumber: (K. Baker, 1974)

Klasifikasi penjadwalan produksi berdasarkan pola kedatangannya adalah diklasifikasikan sebagai berikut:

### 1. Kedatangan statistik

Merupakan pola kedatangan pekerjaan atau *job* datang secara bersamaan dan keseluruhan fasilitas tersedia.

### 2. Kedatangan dinamik

Merupakan pola kedatangan pekerjaan atau *job* datang secara acak selama dilakukan penjadwalan produksi

Klasifikasi penjadwalan produksi berdasarkan sistem informasinya diklasifikasikan sebagai berikut:

### 1. Penjadwalan deterministik

Merupakan penjadwalan dengan penerimaan informasi yang pasti. Contohnya, informasi mengenai waktu proses pengerjaan mesin, waktu kedatangan pekerjaan atau *job*.

### 2. Penjadwalan Stokastik

Merupakan penjadwalan dengan ketidakpastian penerimaan informasi. Contohnya ketidakpastian informasi mengenai pekerjaan, mesin, waktu pengerjaan mesin dan lainnya.

### 2.2.5 Minimasi Makespan dan Waiting Time

Minimasi *makespan* merupakan optimasi total waktu produksi untuk menghasilkan nilai yang terbaik dari semua pekerjaan (*job*) dalam rangkaian atau alur produksi. Nilai *makespan* mengacu pada durasi waktu awal suatu pekerjaan (*job*) hingga selesai waktu pekerjaan dalam menyelesaikan semua tugas dalam penjadwalan produksi. Nilai *makespan* penting diperhatikan karena mendefinisikan efisiensi alur produksi dan pengoptimalan penggunaan sumber daya.

Minimasi *waiting time* merupakan optimasi waktu tunggu yang dihabiskan karena antrian penggunaan mesin dalam keadaan menunggu untuk diproses atau dikerjakan. Menurut (Irwan, 2021) dalam proses manufaktur, terdapat dua kategori *waiting time* yaitu; *waiting time product* karena mesin yang sedang beroperasi dan *waiting time machine* karena bahan baku yang masih belum selesai diproses dari proses sebelumnya. *Waiting time* mengacu pada durasi waktu mulainya suatu pekerjaan hingga suatu pekerjaan selesai dikerjakan. Penting dilakukan minimasi *waiting time* untuk menekankan tumpukan barang setengah jadi (*semi- finished goods*) sehingga dapat mencegah deteriorasi produk yang diakibatkan karena lamanya barang menunggu.

Dengan melakukannya minimasi *makespan* dan minimasi *waiting time* akan membantu perusahaan untuk meningkatkan produktivitas produksi, pengendalian tenaga kerja, pengoptimalan sumber daya, meningkatkan kapasitas produksi, dan penghematan biaya produksi.

### 2.2.6 Metode Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO).

Algoritma pertama kali ditemukan oleh Abu Ja'far Muhammad Ibnu Musa Al-Khawarizmi sejak tahun 825 Masehi. Algoritma adalah prosedur atau langkah yang disusun secara sistematis dengan bantuan komputer untuk menyelesaikan masalah atau persoalan logika. Salah satu permasalahan yang dibantu menggunakan algoritma yaitu optimasi penjadwalan produksi. Penggunaan algoritma dalam optimasi penjadwalan produksi dapat membantu untuk mencari solusi terbaik untuk dapat mengalokasikan dan memaksimalkan sumber daya yang terbatas. Algoritma biasanya memerlukan iterasi (langkah pengulangan) sampai menyelesaikan tugasnya (Suryani, 2011).

Pada tahun 1995 algoritma PSO pertama kali dikenalkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy. Algoritma PSO diangkat dari perilaku sosial makhluk hidup. Algoritma PSO digambarkan sebagai kehidupan populasi kawanan burung, kawanan ikan, kawanan lebah,

dan lain-lain yang berkelompok untuk bertahan hidup. Pemodelan algoritma PSO dapat digambarkan sebagai aktivitas terbangnya kelompok partikel dalam suatu ruang, yang mana ruang tersebut digunakan untuk mencari ruang solusi terbaik dalam pergerakan aktivitas kelompok partikel tersebut. Posisi kelompok partikel dalam solusi ruang terbaik mengandung variabel-variabel optimasi. Posisi partikel dikaitkan dengan nilai yang disebut nilai objektif atau nilai *fitness* yang dihitung berdasarkan fungsi objektif dari masalah optimasi yang akan diselesaikan (Y et al., 2020)

Menurut (Kennedy & Eberhart, 1995) perilaku tiap partikel terhadap “sarang” dapat disederhanakan sebagai berikut:

1. Tiap partikel tertarik pada lokasi sarang.
2. Tiap partikel akan mengingat dimana posisinya dekat dengan sarang.

Kelebihan penggunaan algoritma PSO diantaranya, mudah diimplementasikan dan membutuhkan sedikit parameter, dapat digunakan untuk kompleksitas suatu masalah, menghasilkan solusi yang baik dan membutuhkan waktu singkat, dan partikel yang bergerak mampu mengingat posisi terbaik (Febianti et al., 2018).

#### 2.2.6.1 Simbol Dalam Algoritma PSO

Berikut merupakan simbol-simbol yang digunakan dalam algoritma PSO (Tasgetiren et al., 2007)

- $r_{ij}$  : bilangan *uniform* partikel  $i$  dan job  $j$
- $X_i^t$  : partikel  $i$  dalam *swarm* pada iterasi  $t$
- $X_{ij}^t$  : posisi *value* untuk partikel  $i$  dan pada dimensi  $j$  dimana ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) dan  $n$  adalah *number dimension* atau *job*. Sehingga pada iterasi awal, dinotasikan sebagai  $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, x_{in}^0]$
- $V_{ij}^t$  : kecepatan atau *velocity* partikel  $i$  dan job  $j$  pada iterasi  $t$
- $f_i^t$  : nilai *fitness value* yang mana  $i$  menunjukkan partikel dan  $t$  iterasi
- $p_i^t$  : *personal best* pada iterasi  $t$  dan partikel  $i$
- $p_{ij}^t$  : *personal best* pada partikel  $i$ , job  $j$ , dan iterasi  $t$
- $G^t$  : *global best* pada iterasi  $t$
- $g_{ij}^t$  : *global best* pada partikel  $i$ , job  $j$ , dan iterasi  $t$
- $w^t$  : *inertia weight* pada iterasi  $t$
- $c1, c2$  : nilai koefisien akselerasi yang mana nilai  $c1, c2=2$



- $r1, r2$  : nilai acak *uniform* yang bernilai 0 sampai 1, nilai  $r1$  merupakan nilai *uniform* untuk posisi partikel, dan  $r2$  merupakan nilai *uniform* untuk kecepatan partikel.

### 2.2.6.2 Elemen Dasar Algoritma PSO

Elemen dasar algoritma PSO digunakan sebagai landasan dalam penyelesaian algoritma PSO. berikut merupakan elemen dasar yang digunakan dalam algoritma PSO (Tasgetiren et al., 2007)

- a. *Swarm* : atau populasi merupakan suatu kumpulan dari partikel dari  $t$  populasi

$$Pop = \{ X_1^t, i = 1, 2, \dots, X_p^t \} \quad (2.8)$$

- b. Partikel : merupakan anggota dari suatu *swarm*. Setiap partikel dalam ruang bergerak ke ruang partikel terbaik dalam sebuah *swarm*.

$$X_1^t = [x_{11}^t, x_{12}^t, \dots, x_{1n}^t] \quad (2.9)$$

- c. *Particle Velocity* : merupakan kecepatan partikel  $i$  pada iterasi  $t$  ( $V_i^t$ ). Dapat didefinisikan sebagai berikut

$$V_i^0 = [V_{i1}^0, V_{i2}^0, \dots, v_{in}^t] \quad (2.10)$$

- d. *Inertia Weight* : merupakan parameter untuk digunakan untuk mengontrol dampak dari kecepatan sebelumnya oleh suatu partikel. Akan terjadi penyimpangan suatu partikel apabila nilai inersia terlalu besar sehingga kecepatan akan terus meningkat sehingga akan terjadinya penyimpangan partikel.
- e. Koefisien akselerasi : dinotasikan dengan  $c1$  dan  $c2$ , digunakan untuk mengontrol ukuran langkah pada partikel yang akan dilakukan. Koefisien akselerasi ini mengatur perilaku partikel-partikel dan interaksi antara partikel dalam mencari ruang solusi terbaik.
- f. *Personal Best* : merupakan posisi terbaik dari partikel terbaik pada iterasi  $t$  ( $P_i^t$ ).  $Pbest$  menunjukkan posisi partikel untuk mencari solusi terbaik.
- g. *Global Best* : merupakan posisi terbaik global dari partikel terbaik pada populasi atau *swarm*.
- h. Pembatasan kriteria : merupakan suatu kondisi untuk menetapkan pada iterasi seberapa suatu nilai dikehendaki atau kondisi yang dilakukan untuk membuat batasan proses pencarian jumlah maksimum iterasi.

### 2.2.7 Prosedur Penggunaan Algoritma PSO

Memodelkan Algoritma PSO dalam memecahkan permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1) Menentukan Parameter

Langkah pertama untuk menyelesaikan Algoritma *Particle Swarm Optimization* adalah menentukan parameter. Penentuan parameter dimaksudkan untuk mengatur perilaku dan kinerja algoritma PSO. Parameter yang digunakan pada penelitian ini menggunakan lima parameter, diantaranya:

##### a. Jumlah partikel (N)

Umumnya, jumlah partikel dalam perhitungan Algoritma PSO berkisar 30 sampai 100 partikel (Tuegeh et al., 2009). Jumlah partikel (N) pada penelitian ini sebanyak 30 partikel. Penggunaan 30 partikel ini untuk memudahkan peneliti dalam menghitung dan efisien waktu dalam pengerjaannya. Penggunaan 30 partikel juga cukup untuk memberikan hasil yang maksimal. PSO hanya memerlukan ukuran populasi yang kecil dibanding algoritma lain untuk dapat solusi terbaiknya (Tuegeh et al., 2009).

##### b. Nilai *inertia weight* ( $w$ )

Nilai bobot atau *inertia weight* ( $w$ ) pada penelitian ini menggunakan 0,5. Penggunaan ( $w$ ) = 0,5 karena sama-sama memiliki peranan penting dalam meminimasi *makespan* dan minimasi *waiting time*.

##### c. Nilai *velocity* awal ( $v_0$ )

Nilai *velocity* awal ( $v_0$ ) pada penelitian ini menggunakan 0,5. Penggunaan ( $v_0$ ) = 0,5 karena sama-sama memiliki peranan penting dalam meminimasi *makespan* dan minimasi *waiting time*.

##### d. *Cognitive learning factor* ( $C_1$ ), dan *Social learning factor* ( $C_2$ )

Biasanya nilai  $c_1$  dan  $c_2$  adalah sama dan berada pada rentang 0 sampai 4. Umumnya nilai untuk koefisien akselerasi  $c_1$  dan  $c_2 = 2.0$  (Tuegeh et al., 2009).

##### e. Bilangan acak/*random* ( $r_1$ ), dan ( $r_2$ )

Bilangan acak  $r_1$  dan  $r_2$  dibangkitkan dibantu oleh formulasi dari *Microsoft Excel* dengan rumus “=RAND()”

## 2) Membangkitkan Posisi *Particle* Awal

Langkah kedua adalah membangkitkan posisi *particle* awal ( $X_{0,0}$ ) tiap partikel  $i$  suatu *job*  $j$  dalam iterasi  $t$  dilakukan dengan cara menggunakan bilangan *random* atau acak dengan bantuan formulasi rumus *excel* dengan rumus “=RAND()” dengan nilai rentang 0 sampai 1. Membangkitkan posisi *particle* awal dilakukan untuk menentukan urutan pekerjaan (*job*) pada solusi awal.

## 3) Mengurutkan *Job* dan Menghitung Nilai *Makespan*

Langkah ketiga adalah mengurutkan pekerjaan (*job*) berdasarkan nilai *random* pada tahapan sebelumnya pada proses pembangkitan posisi *particle* awal. Pekerjaan (*job*) diurutkan berdasarkan nilai terkecil hingga terbesar bilangan *random* (Febianti et al., 2018). Kemudian menghitung nilai *makespan* berdasarkan urutan pekerjaan yang sudah diacak.

## 4) Menghitung Posisi *Particle* ( $Z$ )

Langkah keempat adalah menghitung posisi partikel atau (individu kawanan burung), langkah ini diperlukan untuk mengetahui posisi awal burung dalam mencari ruang solusi. Menghitung posisi *particle* ( $Z$ ) menggunakan rumus:

$$Z_i^t = (0,5 \times \text{tot waiting time}) + (0,5 \times \text{makespan}) \quad (2.11)$$

## 5) Mengevaluasi Nilai *Fitness*

Langkah kelima adalah mengevaluasi nilai *fitness*. Evaluasi nilai *fitness* diperlukan untuk melihat seberapa baik partikel dalam *swarm* pada tiap iterasi dalam mencari solusi terbaik. Nilai *fitness* yang akan dipilih adalah sesuai dengan tujuan penelitian yaitu nilai terkecil atau nilai *waiting time* dan *makespan* terbaik.

Mengevaluasi nilai *fitness* setiap partikel menggunakan rumus:

$$\text{Fitness}_{(i)}^t = (\text{bignumber} - Z) \quad (2.12)$$

## 6) Menentukan Nilai *Pbest* dan *Gbest*

Langkah keenam adalah menentukan nilai *pbest* (*personal best*) yaitu nilai posisi terbaik diantara semua partikel dalam *swarm* pada setiap iterasi, sedangkan nilai *gbest* (*global best*) yaitu nilai berupa kumpulan posisi partikel atau *swarm* dari seluruh iterasi. Nilai *pbest* pada iterasi 0 merupakan nilai *fitness* itu sendiri karena belum ada perbandingan nilai *fitness* dengan iterasi pembaharuan. Nilai *pbest* dan *gbest* dipilih berdasarkan yang memiliki nilai maksimum.

### 7) *Update Kecepatan Particle*

Langkah ketujuh adalah *update* kecepatan partikel atau *update velocity*. Langkah ini dilakukan supaya partikel *i* dan *job j* di tiap iterasi dapat bergerak untuk berpindah dalam memperbaiki posisi sebelumnya untuk mencari solusi yang lebih baik. *Update* kecepatan partikel menggunakan rumus:

$$v_{0,0} = wv_0 + C_1r_1(P_{0,0} - X_{0,0}) + C_2r_2(G_{0,0} - X_{0,0}) \quad (2.13)$$

### 8) *Update Posisi Particle*

Langkah kedelapan adalah *update* posisi partikel. *Update* posisi partikel dilakukan supaya mengetahui posisi burung partikel *i* dan *job j* di tiap iterasi dalam mencari ruang solusi yang lebih baik. *Update* posisi partikel melibatkan langkah sebelumnya atau perbaruan posisi partikel dengan posisi partikel awal yaitu nilai *random* pada langkah kedua. *Update* posisi partikel menggunakan rumus:

$$\text{Posisi partikel} = x_{0,0} + v_{0,0} \quad (2.14)$$

### 9) *Update Iterasi*

Langkah kesembilan adalah *update* iterasi. *Update* iterasi dilakukan untuk mencari solusi yang optimal atau langkah ini dilakukan untuk mencari nilai minimum *makespan* dan nilai *waiting time*. Langkah ini mengulangi dari langkah membangkitkan posisi awal partikel dengan nilai *random* atau langkah kedua hingga langkah *update* posisi partikel atau langkah kedelapan.

$$t = t + 1 \quad (2.15)$$

### 10) *Pembatas Kriteria*

Pembatasan kriteria dilakukan ketika nilai *makespan* pada iterasi sebelumnya konstan atau nilai *makespan* sama dengan iterasi baru. Pembatas kriteria dapat diartikan sebagai tujuan dari penelitian ini terpenuhi atau nilai *makespan* dan *waiting time* sudah minimum.

#### 2.2.8 *Software Microsoft Excel*

Pengolahan data dilakukan dengan meminimasi total waktu produksi (*makespan*) dan minimasi *waiting time* dengan memberikan usulan penjadwalan produksi yang dibantu dengan menggunakan *tools* Microsoft Excel untuk mencari nilai *makespan* terbaik.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah Perusahaan Industri Kulit X. Fokus pada penelitian ini yaitu minimasi *makespan* atau total waktu produksi dan *waiting time* atau waktu tunggu produksi dilakukan dengan cara memberikan usulan penjadwalan urutan pekerjaan (*job sequence*) menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas produksi Perusahaan Industri Kulit X.

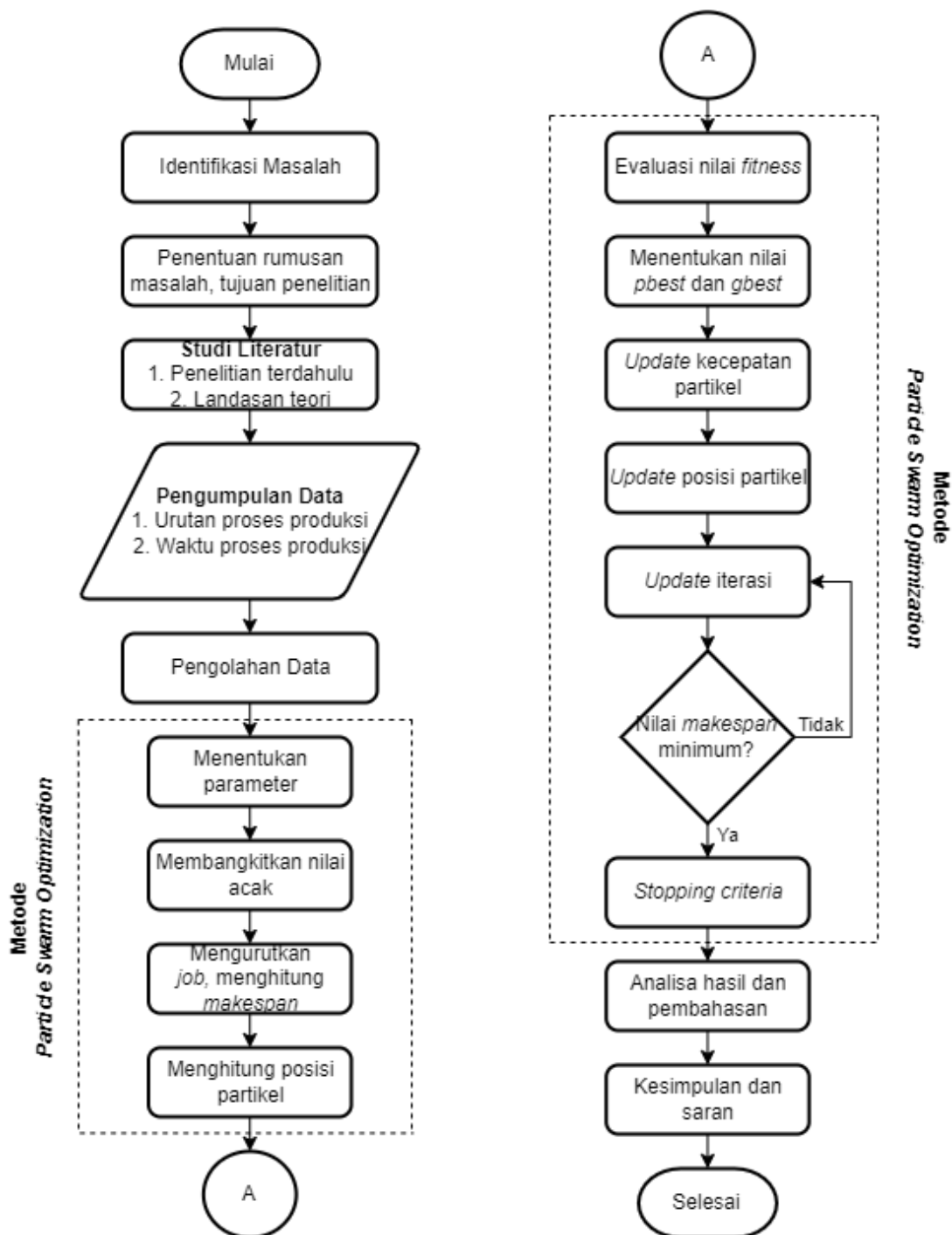
#### 3.2 Jenis Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder perusahaan. Berikut penjelasan sumber data yang digunakan pada penelitian ini:

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung oleh peneliti dari lokasi penelitian. Pada penelitian ini data sekunder yang digunakan berdasarkan data urutan proses produksi untuk setiap material dan waktu proses setiap material di tiap mesin yang diambil secara langsung di perusahaan dan data yang berasal dari beberapa literatur seperti jurnal maupun penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dengan permasalahan topik yang diangkat pada penelitian ini.

### 3.3 Alur Penelitian

Alur penelitian ini digambarkan dengan diagram alir penelitian. Berikut merupakan diagram alur penelitian ini:



Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian

Penjelasan dari diagram alir penelitian ini:

1. Identifikasi masalah

Pada langkah awal penelitian ini peneliti menjelaskan permasalahan yang terjadi di perusahaan terkait kebutuhan perusahaan untuk meningkatkan produktivitas produksinya. Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pentingnya mengapa melakukan penelitian ini. Permasalahan yang terjadi pada perusahaan adalah adanya waktu tunggu atau *waiting time* pada penjadwalan produksi dengan rata-rata sebesar 19300 detik = 5,36 jam. Permasalahan waktu tunggu akan mengakibatkan penumpukan barang setengah jadi sehingga menyebabkan probabilitas kerusakan produk, dan mengakibatkan total waktu produksi atau nilai *makespan* yang menjadi besar.

2. Penentuan rumusan masalah, tujuan dan batasan penelitian

Setelah menentukan identifikasi masalah, beberapa permasalahan tersebut akan dibuat poin-poin penting dalam menentukan rumusan masalah supaya lebih spesifik yang nantinya rumusan masalah tersebut akan diselesaikan dalam penelitian ini. Kemudian menentukan tujuan penelitian dan batasan penelitian untuk membantu peneliti supaya terfokus pada permasalahan yang sudah ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil minimasi *makespan* dan *waiting time* dari penjadwalan produksi menggunakan metode Algoritma PSO dan untuk mengetahui urutan pekerjaan penjadwalan produksi yang optimal dengan batasan penelitian yang sudah dijelaskan pada bab 1.5.

3. Studi literatur

Setelah menentukan rumusan masalah, tujuan, dan batasan penelitian dilakukan studi literatur untuk memudahkan peneliti dalam mencari informasi yang relevan dengan permasalahan pada penelitian yang dilakukan. Studi literatur ini memuat ringkasan penelitian terdahulu dan landasan teori dasar yang relevan dengan permasalahan yang diteliti.

4. Pengumpulan data

Setelah melakukan studi literatur, peneliti melakukan pengumpulan data berdasarkan pengamatan yang diambil secara langsung untuk keperluan penelitian memuat data urutan proses produksi setiap material dan waktu proses produksi setiap material di setiap mesin, serta pengumpulan data secara tidak langsung berdasarkan kumpulan beberapa literatur.

## 5. Pengolahan data

Setelah melakukan pengumpulan data, pada tahapan ini akan melakukan pengolahan data yaitu perhitungan minimasi *makespan* dan minimasi *waiting time* menggunakan metode Algoritma *Particle Swarm Optimization*. Pengolahan data dibantu oleh *software Microsoft Excel*.

## 6. Menentukan parameter

Pada tahap pertama pengerjaan Algoritma PSO adalah menentukan parameter. Penelitian ini menggunakan lima parameter, yaitu jumlah partikel ( $N$ ) yang menggambarkan pengacakan *job sequence* sebanyak 10 kali, kemudian nilai *inertia weight*, kecepatan awal, *cognitive learning factor* ( $c1$ ), dan *social learning factor* ( $c2$ ) yang digunakan untuk menghitung perbaruan kecepatan partikel dan perbaruan posisi partikel  $i$  pada suatu *job j* di tiap iterasi  $t$  untuk mencari ruang solusi terbaik.

## 7. Membangkitkan nilai acak

Tahapan selanjutnya adalah membangkitkan nilai acak untuk menentukan posisi partikel  $i$  suatu *job j* dalam iterasi  $t$ .

## 8. Mengurutkan *job sequence* dan menghitung *makespan*

Tahapan selanjutnya adalah mengurutkan *job sequence* berdasarkan langkah sebelumnya yaitu berdasarkan nilai acak posisi partikel  $i$  dalam iterasi  $t$  yang telah dibangkitkan berdasarkan nilai terkecil hingga terbesar yang kemudian menghitung nilai *makespan* untuk melihat perbandingan nilai *makespan* perusahaan dengan nilai *makespan* berdasarkan *job sequence* yang sudah diacak.

## 9. Menghitung posisi partikel

Tahap selanjutnya adalah menghitung posisi partikel  $i$  dalam iterasi  $t$  atau nilai  $Z$  untuk mengetahui *performance* tiap individu burung.

## 10. Menghitung nilai *fitness*

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *fitness* partikel  $i$  dalam iterasi  $t$  sebagai acuan untuk menentukan nilai *pbest* dan *gbest*.

## 11. Menentukan nilai *pbest* dan *gbest*

Tahap selanjutnya adalah menentukan nilai *pbest* dan *gbest* yang merupakan nilai minimum *makespan* terbaik. *Pbest* menunjukkan posisi terbaik diantara partikel  $i$  dalam iterasi  $t$ . dan *Gbest* merupakan posisi terbaik dari sekelompok partikel  $i$  atau *swarm* dalam iterasi  $t$ .

## 12. Update kecepatan partikel



Tahap selanjutnya adalah memperbarui kecepatan partikel  $i$  suatu  $job j$  dalam iterasi  $t$  sehingga partikel berpindah dengan kecepatan tersebut dan dapat menuju ruang solusi terbaik.

13. *Update* posisi partikel

Tahap selanjutnya adalah memperbarui posisi partikel  $i$  suatu  $job j$  dalam iterasi  $t$  sehingga posisi partikel berpindah dan dapat menuju ruang solusi terbaik.

14. *Update* iterasi

Tahap selanjutnya adalah memperbarui iterasi dengan mengulangi langkah 7 yaitu membangkitkan nilai acak untuk menentukan posisi partikel  $i$  suatu  $job j$  dalam iterasi  $t$  sampai langkah 13 yaitu memperbarui posisi partikel untuk  $i$  suatu  $job j$  dalam iterasi  $t$ . Memperbarui iterasi dilakukan sampai mendapatkan nilai minimum *makespan* dan *waiting time*.

15. *Stopping criteria*

Tahap selanjutnya adalah *stopping criteria* yang menggambarkan seberapa banyak perbaruan iterasi dilakukan. *Stopping criteria* dilakukan ketika nilai *makespan* dan *waiting time* pada iterasi sebelumnya konstan atau menghasilkan nilai yang sama dengan iterasi baru.

16. Analisa hasil dan pembahasan

Setelah semua proses pengolahan data penjadwalan produksi menggunakan algoritma PSO selesai, maka pada tahapan ini dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data sebelumnya dan pembahasan. Berdasarkan hasil pada tahapan sebelumnya, dilakukan analisa hasil dan pembahasan untuk mengetahui apakah metode yang digunakan dapat menyelesaikan permasalahan yang terdapat di perusahaan atau tidak.

17. Kesimpulan dan saran

Setelah melakukan analisa hasil dan pembahasan, tahapan ini menjelaskan pemaparan kesimpulan dari penelitian ini yang menjawab tujuan daripada penelitian ini apakah tercapai atau tidak. Serta memberikan saran untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

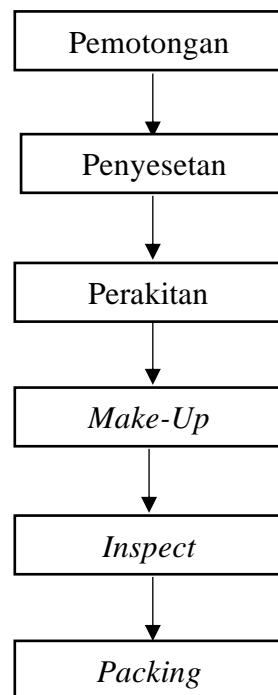
#### 4.1 Proses Produksi Perusahaan

Kebutuhan proses produksi perusahaan memerlukan enam mesin produksi yang memuat mesin pemotongan, mesin penyesetan, mesin perakitan, mesin *make-up*, mesin *inspect*, dan mesin *packing*. Proses produksi perusahaan membutuhkan 17 proses pengerjaan produk. Adapun produk dan urutan proses pengerjaa produk yang diterapkan oleh perusahaan sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Jenis Produk dan Urutan Pengerjaan

<b>Urutan Pekerjaan (Job)</b>	<b>Kode Produk yang Dikerjakan</b>	<b>Nama Brand</b>
J1	91304	Canvas man type 4
J2	91302	Canvas man type 2
J3	11406	Jhon anglo type 6
J4	91301	Canvas man type 1
J5	71301	Ashadewi L type 1
J6	61301	Ashadewi Duffel type 1
J7	91303	Canvas man type 3
J8	71302	Ashadewi L type 2
J9	11405	Jhon anglo type 5
J10	11401	Jhon anglo type 1
J11	61303	Ashadewi Duffel type 3
J12	11404	Jhon anglo type 4
J13	11402	Jhon anglo type 2
J14	71304	Ashadewi L type 4
J15	11403	Jhon anglo type 3
J16	71303	Ashadewi L type 3
J17	61302	Ashadewi Duffel type 2

Adapun proses produksi yang dinotasikan sebagai mesin 1 (M1) dan seterusnya pada perusahaan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi

Berikut adalah penjelasan proses produksi perusahaan:

1. Pemotongan (M1)

Terdapat 2 teknik pemotongan, yaitu teknik manual dan teknik mesin. Pemotongan dengan teknik manual dilakukan oleh karyawan bagian pemotongan pola pada kulit, Dimana karyawan menggunakan contoh pola dari karton kemudian menekannya pada permukaan lembaran kulit. Pemotongan dengan teknik manual dilakukan menggunakan pisau *cutter*. Adapun pemotongan menggunakan mesin dilakukan untuk memotong *handle*. Pisau potong diatur sesuai ketebalan *handle* yang diinginkan. Dalam satu kali pemotongan, bisa menghasilkan 5-10 potong *handle*.

2. Penyesetan (M2)

Proses penyesetan dilakukan menggunakan mesin seset dengan lebar sesetan 0,7 cm. Bagian yang diseset tersebut digunakan untuk proses pelipatan dan penjahitan dengan komponen tas secara keseluruhan.

3. Perakitan (M3)

Sebelum dilakukan perakitan, terlebih dahulu dilakukan proses pelipatan. Secara umum, proses perakitan terdiri atas aktivitas melipat kulit, memberikan lem diatas kulit, mengelem kain atau bagian lain yang akan di lem, menyatukan kedua bagian

yang hendak dirakit, memukul-mukul bagian yang telah disatukan, dan menjahit bagian tersebut agar lebih kokoh. Proses perakitan tas terdiri atas beberapa elemen sebagai berikut:

- a. Perakitan pada bagian depan tas.
  - b. Perakitan pada bagian belakang tas.
  - c. Perakitan bagian tutup tas.
  - d. Penggabungan bagian depan, bagian belakang, tepong dan bagian tutup.
  - e. Perakitan bagian *lining* tas.
  - f. Penggabungan komponen tas dengan *lining*.
  - g. Perakitan *handle*.
4. *Make-Up* (M4)

Proses *make up* dilakukan dengan tujuan untuk mempercantik tas yang sudah jadi. Dalam proses *Make-Up* ini terdapat aktivitas seperti memasang gantungan rit ke kepala rit, memotong sisa-sisa benang yang tidak rapi menggunakan gunting, membersihkan sisa-sisa lem yang menempel pada produk jadi menggunakan karet *crepe*, dan membersihkan sisa-sisa tinta perak yang terdapat pada produk jadi dengan menuangkan bensin diatas *spon* dan menggosokkannya pada bagian yang terkena tinta perak.

5. *Inspect* (M5)

Aktivitas proses *inspect* berupa pengecekan produk jadi. Tujuan aktivitas tersebut adalah memastikan bahwa produk yang sudah jadi benar-benar memenuhi standar kualitas yang ditetapkan perusahaan. Produk yang tidak lolos *Inspect* akan diberi tanda dan dikembalikan ke bagian perakitan untuk diperbaiki. Adapun produk yang lolos *Inspect* akan dilanjutkan ke proses penyamaan warna untuk menyeragamkan warna produk.

6. *Packing* (M6)

Aktivitas terakhir adalah pengemasan produk. Sebelum produk di kemas, dilakukan terlebih dahulu pelipatan *handle* agar produk menjadi lebih rapi. Setelah produk *handle* dilipat, maka dibungkus dengan kertas *plano* dan direkatkan dengan selotip. Setelah itu produk diberi label, *leather bag*, dan dimasukkan ke dalam plastic dengan tambahan pengawet tas dan artikel tas.

## 4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian dilakukan untuk menunjang kebutuhan penelitian untuk membantu memecahkan rumusan masalah yang telah ditentukan sehingga mendukung tujuan penelitian. Data yang diolah merupakan data total waktu produksi pada setiap produk.

### 4.2.1 Data Cycle Time

Waktu proses setiap material atau setiap *job* di setiap mesin yang diambil secara tidak langsung di perusahaan. Berikut merupakan data *cycle time* tiap *job* di setiap mesin dengan urutan pekerjaan yang diterapkan oleh perusahaan secara urut mulai dari *job 1*-*job 17*:

Tabel 4. 2 Data Cycle Time

<b>Job</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>
<b>J1</b>	135,62	121,96	3510,18	2360,75	213,38	372,92
<b>J2</b>	90,45	81,46	2282,55	1573,46	142,30	248,50
<b>J3</b>	197,82	149,32	430,24	584,11	3910,70	237,15
<b>J4</b>	90,20	81,43	2282,08	1573,88	142,55	248,02
<b>J5</b>	241,82	215,66	4335,04	1839,83	368,22	378,59
<b>J6</b>	456,66	2930,95	464,22	906,20	119,37	163,12
<b>J7</b>	135,17	122,61	3424,42	2360,26	213,85	373,02
<b>J8</b>	240,74	180,60	4335,04	1794,38	1089,00	387,12
<b>J9</b>	196,74	148,52	431,21	561,37	3809,12	237,15
<b>J10</b>	194,14	149,44	427,29	560,19	3576,36	237,15
<b>J11</b>	456,78	2905,23	463,52	895,51	134,61	163,34
<b>J12</b>	195,39	148,27	448,22	693,77	3553,93	237,15
<b>J13</b>	196,97	149,88	428,50	574,35	4005,38	237,15
<b>J14</b>	240,94	180,44	4347,38	1880,38	364,75	385,94
<b>J15</b>	196,80	148,88	432,35	580,22	3788,21	237,15
<b>J16</b>	241,56	183,71	4351,61	1811,75	367,49	362,58
<b>J17</b>	455,09	2911,42	462,47	896,77	215,36	163,14

#### 4.2.2 Penjadwalan Perusahaan

Berikut perhitungan nilai *makespan* dan *waiting time* perusahaan dijelaskan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 3 Penjadwalan Perusahaan

<i>J</i> <i>o</i> <i>b</i>	<b>M1</b>			<b>M2</b>			<b>M3</b>			<b>M4</b>			<b>M5</b>			<b>M6</b>			<b>Waiti</b> <b>ng</b> <b>Time</b>
	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	
1	0	135,62	135,62	135,62	121,96	257,57	257,57	3510,18	3767,75	3767,75	2360,0	6128,50	6128,50	213,38	6341,88	6341,88	372,92	6714,80	0,00
2	135,62	90,45	226,07	257,57	81,46	339,04	3767,75	2282,55	6050,30	6128,50	1573,46	7701,96	7701,96	142,30	7844,26	7844,26	248,50	8092,76	3538,42
3	226,07	197,82	423,89	423,89	149,32	573,21	6050,30	430,24	6480,54	7701,96	584,11	8286,07	8286,07	3910,70	12196,77	12196,77	237,15	12433,92	6698,51
4	423,89	90,20	514,09	573,21	81,43	654,65	6480,54	2282,08	8762,62	8762,62	1573,88	10336,51	12196,77	142,55	12339,31	12339,31	248,3,92	12681,02	7839,94
5	514,09	241,82	755,91	755,91	215,66	971,57	8762,62	4335,04	13097,66	13097,66	1309,83	14937,49	14937,49	368,22	15305,71	15305,71	378,5,71	15684,59	7791,30
6	755,91	456,66	1212,57	1212,57	2930,95	4143,52	1309,7,66	464,22	13561,88	1493,7,49	906,20	15843,69	15843,69	119,37	15963,06	15963,06	163,3,06	16126,12	1032,17
7	1212,57	135,17	1347,74	1347,74	122,61	4266,13	1356,1,88	3424,42	16986,30	16986,30	1698,26	19346,56	19346,56	213,85	19560,41	19560,41	373,0,41	19933,02	1209,43
8	1347,74	240,74	1588,48	1588,48	180,60	4446,73	1698,6,30	4335,04	21321,34	21321,34	1794,38	23115,72	23115,72	1089,00	24204,72	24204,72	387,4,72	24591,12	1521,84

<i>J</i>	<b>M1</b>			<b>M2</b>			<b>M3</b>			<b>M4</b>			<b>M5</b>			<b>M6</b>			<i>Waiti</i> <b>ng</b> <i>Time</i>
	<i>o</i> <i>b</i> <i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	<i>Start</i>	<i>Dura</i> <i>tion</i>	<i>Compl</i> <i>etion</i>	
9	158	196,	1785,2	444	148,	4595,2	2132	431,	21752,	2311	561,	23677,	2420	3809	28013,	2801	237,	28251,	2127
	8,48	74	2	6,73	52	5	1,34	21	55	5,72	37	09	4,72	,12	85	3,85	15	00	8,40
1	178	194,	1979,3	459	149,	4744,6	2175	427,	22179,	2367	560,	24237,	2801	3576	31590,	3159	237,	31827,	2489
0	5,22	14	7	5,25	44	9	2,55	29	84	7,09	19	28	3,85	,36	21	0,21	15	37	7,56
1	197	456,	2436,1	474	2905	7649,9	2217	463,	22643,	2423	895,	25132,	3159	134,	31724,	3182	163,	31990,	2499
1	9,37	78	4	4,69	,23	1	9,84	52	36	7,28	51	79	0,21	61	82	7,37	34	70	2,36
1	243	195,	2631,5	764	148,	7798,1	2264	448,	23091,	2513	693,	25826,	3172	3553	35278,	3527	237,	35515,	2780
2	6,14	39	4	9,91	27	8	3,36	22	59	2,79	77	56	4,82	,93	75	8,75	15	90	3,02
1	263	196,	2828,5	779	149,	7948,0	2309	428,	23520,	2582	574,	26400,	3527	4005	39284,	3928	237,	39521,	3129
3	1,54	97	1	8,18	88	5	1,59	50	09	6,56	35	91	8,75	,38	13	4,13	15	28	7,51
1	282	240,	3069,4	794	180,	8128,4	2352	4347	27867,	2786	1880	29747,	3928	364,	39648,	3964	385,	40034,	2980
4	8,51	94	4	8,05	44	9	0,09	,38	47	7,47	,38	85	4,13	75	88	8,88	94	82	6,48
1	306	196,	3266,2	812	148,	8277,3	2786	432,	28299,	2974	580,	30328,	3964	3788	43437,	4343	237,	43674,	3522
5	9,44	80	5	8,49	88	7	7,47	35	81	7,85	22	07	8,88	,21	10	7,10	15	25	1,20
1	326	241,	3507,8	827	183,	8461,0	2829	4351	32651,	3265	1811	34463,	4343	367,	43804,	4380	362,	44167,	3358
6	6,25	56	1	7,37	71	7	9,81	,61	42	1,42	,75	17	7,10	49	59	4,59	58	17	2,23
1	350	455,	3962,9	846	2911	11372,	3265	462,	33113,	3446	896,	35359,	4380	215,	44019,	4416	163,	44330,	3571
7	7,81	09	0	1,07	,42	49	1,42	47	90	3,17	77	94	4,59	36	95	7,17	14	31	8,25

Nilai total waktu produksi atau *makespan* perusahaan didapatkan dengan rumus

$$Ms = \sum_i t_i \text{ atau } Ms = C_{max} \quad (4.1)$$

Pengerjaan *job* yang dilakukan menurut urutan *job* (J1, J2, J3, J4, J5, ..., J17) di tiap mesin, setelah dilakukan perhitungan pada masing-masing *job* tiap mesin, didapatkan waktu penyelesaian setiap *job* terakhir di mesin terakhir merupakan nilai *makespan* perusahaan. Berdasarkan tabel 4.2 diketahui bahwa nilai *makespan* dari penjadwalan perusahaan, adalah 44330,31 detik.

$$\begin{aligned} C_{max} &= \text{Waktu penyelesaian setiap } job \text{ terakhir di mesin terakhir} \\ &= 44330,31 \text{ detik} = 12,314 \text{ jam.} \end{aligned}$$

Nilai *waiting time* pengerjaan *job* yang dilakukan menurut urutan *job* (J1, J2, J3, J4, J5, ..., J17) selisih antar mesin, dihitung dengan cara yang tertera pada persamaan 2.3. Penyelesaian *Waiting Time*:

$$\begin{aligned} &= (\text{Starting time M2} - \text{Completion time M1}) + (\text{Starting time M3} - \text{Completion time M2}) \\ &+ (\text{Starting time M4} - \text{Completion time M3}) + (\text{Starting time M5} - \text{Completion time M4}) \\ &+ (\text{Starting time M6} - \text{Completion time M5}) \end{aligned}$$

Contoh Perhitungan *Waiting Time* pada *Job 2*:

$$\begin{aligned} Job 2 &= (257,57-226,07) + (3767,75-339,04) + (6128,50-6050,30) + (7701,96-7701,96) \\ &+ (7844,26-7844,26) \\ &= 3538,42 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sehingga untuk total *waiting time* adalah jumlah keseluruhan dari *waiting time job 1* hingga *job 17*, menghasilkan total nilai *waiting time* sebesar 328103,38 detik atau 91,14 jam dan menghasilkan rata-rata nilai *waiting time* sebesar 19300 detik = 5,36 jam.

### 4.3 Pengolahan Data

Tahapan ini peneliti akan melakukan pengolahan data yaitu perhitungan minimasi *makespan* dan minimasi *waiting time* dengan metode penjadwalan yang diusulkan untuk dapat mengatur penjadwalan *job-job* pada mesin produksi menggunakan metode Algoritma *Particle Swarm Optimization* dibantu *tools software Microsoft Excel*.

Langkah penyelesaian Algoritma PSO didahului dengan menentukan parameter, membangkitkan nilai acak atau bilangan secara *random*, mengurutkan pekerjaan atau *job* berdasarkan nilai acak dan menghitung nilai *makespan*, menghitung posisi partikel, menghitung nilai *fitness*, menentukan *personal best*, menentukan nilai *global best*, *update* nilai *velocity* atau kecepatan, dan *update* posisi *particle*. Langkah tersebut dilakukan



secara berulang hingga *stopping criteria* tercapai atau berhenti pada iterasi beberapa. Berikut merupakan langkah-langkah penyelesaian Algoritma *Particle Swarm Optimization*:

#### 4.3.1 *Menentukan Parameter*

Pada penelitian ini ditentukan parameter sebagai berikut:

Nilai partikel ( $N$ ) = 30, nilai kecepatan atau *velocity* ( $v_0$ ) = 0,5 nilai *inertia weight* ( $w$ ) = 0,5, nilai cognitive 1 dan 2 secara berurut ( $C_1$ ) = 2 dan ( $C_2$ ) = 2.

#### 4.3.2 *Membangkitkan Bilangan Random*

Pada tahap ini cara untuk membangkitkan bilangan acak untuk menentukan posisi awal partikel dengan formulasi rumus *excel* “=RAND()”. Nilai bilangan random dengan range [0,1]. Berikut adalah bilangan acak untuk partikel  $i$  suatu *job*  $j$  dalam iterasi  $t$  yaitu iterasi 0.

Tabel 4. 4 Bilangan Random ( $X_{0,0}$ ) Iterasi 0

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,4938	0,9478	0,8140	0,9292	0,9910	0,7008	0,0292	0,1269	0,4060	0,1833	0,1306	0,7798	0,9228	0,7057	0,5887	0,2491	0,2741
	57	48	13	18	78	46	63	83	11	88	81	91	20	67	39	93	65
2	0,3278	0,9709	0,9045	0,4555	0,4736	0,3906	0,4041	0,8589	0,6626	0,7995	0,8939	0,1354	0,0744	0,1695	0,0629	0,3660	0,7138
	94	43	37	71	80	86	51	22	58	67	28	47	69	47	65	16	57
3	0,5504	0,3058	0,9586	0,5263	0,9635	0,8065	0,1394	0,0511	0,0044	0,6716	0,7065	0,6286	0,4233	0,7657	0,5717	0,3457	0,6220
	56	99	40	75	49	55	05	16	22	16	56	51	79	48	79	00	95
4	0,9091	0,9407	0,7053	0,1848	0,4879	0,2421	0,8941	0,7705	0,3338	0,4840	0,3801	0,1231	0,7432	0,5862	0,9401	0,3209	0,7753
	43	15	51	45	45	79	88	36	47	56	43	07	30	67	32	74	59
5	0,7590	0,2866	0,8852	0,9848	0,6855	0,8983	0,9400	0,8796	0,8732	0,2247	0,1873	0,7076	0,1797	0,5276	0,7400	0,2197	0,1162
	91	69	95	17	47	46	69	77	06	88	47	91	17	35	12	15	23
6	0,3820	0,9769	0,7061	0,4815	0,5201	0,2628	0,3260	0,5831	0,1420	0,5725	0,7373	0,2531	0,5350	0,0446	0,1326	0,5277	0,5203
	17	82	55	07	08	62	00	26	47	74	49	10	29	93	96	55	27
7	0,6967	0,4032	0,6819	0,8158	0,2003	0,4514	0,9878	0,4229	0,8112	0,4617	0,5515	0,2064	0,3572	0,8504	0,7181	0,0159	0,6784
	91	40	74	70	24	56	95	36	72	70	88	63	09	64	24	60	09
8	0,1351	0,4621	0,2408	0,1233	0,1384	0,1846	0,0669	0,0271	0,6709	0,9023	0,8622	0,4570	0,0982	0,3928	0,7216	0,1724	0,8972
	85	05	98	32	02	66	57	90	83	84	94	66	58	57	25	83	18
9	0,0315	0,2125	0,1882	0,1589	0,0048	0,4792	0,9319	0,6698	0,6321	0,5029	0,8629	0,5695	0,8720	0,4502	0,0964	0,4160	0,2979
	08	25	91	84	04	08	22	64	37	34	67	74	27	92	98	33	58
10	0,2140	0,4040	0,7661	0,5325	0,1044	0,1996	0,4827	0,1365	0,4736	0,5257	0,9543	0,5045	0,5141	0,1588	0,9127	0,4056	0,7564
	34	69	07	11	89	92	41	96	69	64	15	40	90	11	25	14	11

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,1432 43	0,5943 33	0,3187 93	0,1719 01	0,6208 42	0,8301 32	0,8051 30	0,8827 41	0,4298 17	0,9524 26	0,0167 46	0,5191 57	0,0192 30	0,9006 10	0,8933 26	0,2338 44	0,1374 36
12	0,7714 13	0,0183 17	0,2506 81	0,7965 15	0,0128 27	0,3371 82	0,0208 09	0,2322 98	0,6930 70	0,3433 98	0,4252 26	0,1424 25	0,7798 53	0,8416 53	0,4745 18	0,1328 97	0,1862 12
13	0,3979 90	0,7456 58	0,7018 17	0,4093 04	0,1392 50	0,3482 87	0,5520 04	0,5600 58	0,6062 10	0,2997 93	0,0200 65	0,9577 03	0,9077 12	0,5698 88	0,9550 57	0,8884 03	0,0994 07
14	0,5915 59	0,6319 30	0,7276 38	0,3359 46	0,9925 90	0,4501 34	0,2859 75	0,6907 71	0,4690 72	0,1157 56	0,7981 21	0,9527 46	0,0325 66	0,5639 63	0,0211 62	0,0121 86	0,1656 76
15	0,5780 70	0,3176 20	0,5787 98	0,2079 57	0,6477 25	0,5846 14	0,3590 97	0,0456 00	0,7582 19	0,6176 71	0,0842 23	0,1705 37	0,9956 25	0,6431 31	0,7577 02	0,0143 67	0,0778 95
16	0,6825 42	0,6767 53	0,1653 34	0,0364 13	0,6251 10	0,2840 50	0,2526 33	0,9467 44	0,1525 07	0,0542 54	0,9423 79	0,4404 42	0,5151 16	0,1056 05	0,9820 73	0,2357 76	0,4557 86
17	0,0344 15	0,2445 45	0,9794 63	0,8574 69	0,4292 83	0,3348 72	0,9188 10	0,9145 59	0,4902 08	0,7905 80	0,6026 51	0,7115 03	0,8893 61	0,6275 06	0,3779 99	0,9471 03	0,3368 25
18	0,1313 27	0,4916 18	0,4184 99	0,5036 52	0,8391 05	0,3311 49	0,9490 96	0,5101 77	0,8372 75	0,1782 87	0,9758 03	0,0329 25	0,0558 94	0,7734 29	0,3623 17	0,4250 84	0,4785 14
19	0,2083 97	0,6669 81	0,6563 56	0,5902 95	0,9614 79	0,1063 85	0,6258 77	0,9121 24	0,5437 29	0,6229 80	0,8816 22	0,8605 84	0,9898 19	0,2909 17	0,2280 43	0,6815 24	0,8277 89
20	0,7642 19	0,1975 43	0,5576 10	0,1127 07	0,2236 50	0,6919 59	0,1872 75	0,4965 17	0,7911 79	0,2921 16	0,9224 94	0,9261 55	0,3916 14	0,5233 39	0,1100 97	0,0626 17	0,5029 73
21	0,4224 41	0,2148 31	0,7977 09	0,4494 24	0,9707 70	0,9273 40	0,8277 53	0,2893 58	0,1241 87	0,9462 16	0,0172 32	0,1518 07	0,1097 51	0,2459 78	0,4914 45	0,1059 59	0,2596 42

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,6797 70	0,5358 96	0,2069 98	0,1360 64	0,3118 82	0,8570 01	0,3929 79	0,4644 38	0,1016 82	0,9491 34	0,3753 70	0,0922 32	0,8236 23	0,2094 13	0,5629 80	0,6527 33	0,1773 29
23	0,4241 07	0,4030 31	0,5403 02	0,5565 76	0,3733 04	0,3719 64	0,2007 55	0,8731 63	0,8395 31	0,5770 35	0,7246 35	0,2067 32	0,3091 01	0,7141 81	0,0027 98	0,7177 74	0,6030 90
24	0,9374 97	0,6740 58	0,1577 19	0,8263 94	0,7585 22	0,3714 42	0,1429 41	0,7218 40	0,2927 88	0,0107 18	0,7944 76	0,1189 10	0,9029 57	0,4092 26	0,9509 35	0,1668 37	0,7673 08
25	0,0102 61	0,4343 68	0,9749 43	0,2044 96	0,5445 08	0,3492 52	0,1489 91	0,2773 22	0,9123 06	0,3514 39	0,4978 91	0,7517 06	0,4286 54	0,5647 10	0,6791 36	0,8777 67	0,7987 62
26	0,9773 72	0,6614 08	0,3749 49	0,6215 21	0,0571 78	0,9616 83	0,0614 29	0,3310 25	0,6958 41	0,2705 71	0,5798 12	0,6127 84	0,1142 37	0,9766 99	0,0121 44	0,5973 84	0,2361 69
27	0,9480 76	0,9785 99	0,5410 56	0,1080 58	0,9295 84	0,0225 95	0,4560 47	0,8114 08	0,1995 62	0,3113 34	0,2913 27	0,2245 53	0,9563 93	0,3129 86	0,2948 72	0,5724 21	0,8096 24
28	0,4115 53	0,0315 95	0,2798 44	0,0043 75	0,3733 40	0,4592 80	0,1560 84	0,0461 26	0,3562 47	0,8438 21	0,5632 33	0,2834 99	0,4084 55	0,4960 43	0,4224 49	0,1757 11	0,0250 51
29	0,2414 50	0,6102 12	0,7360 89	0,0194 28	0,6759 31	0,3721 20	0,8351 81	0,5625 47	0,1117 32	0,8241 48	0,0483 39	0,2171 52	0,4657 28	0,8092 04	0,6266 48	0,1114 41	0,8872 87
30	0,5581 87	0,8753 90	0,5314 12	0,2466 61	0,9802 23	0,0824 18	0,8430 97	0,0250 99	0,0779 52	0,8758 48	0,0137 44	0,2831 87	0,9065 70	0,8433 13	0,0118 79	0,0938 96	0,5286 25

### 4.3.3 Mengurutkan Urutan Pekerjaan Serta Menghitung Makespan dan Waiting Time

Pada tahapan ini mengurutkan *job sequence* berdasarkan bilangan *random* dari langkah sebelumnya tiap partikel dari nilai terkecil hingga terbesar.

Tabel 4. 5 *Job Sequence* Iterasi 0

<i>Job Sequence</i> Tiap Partikel	
1	J7 – J8 – J11 – J10 – J16 – J17 – J9 – J1 – J15 – J6 – J14 – J12 – J3 – J13 – J4 – J2 – J5
2	J15 – J13 – J12 – J14 – J1 – J16 – J6 – J7 – J4 – J5 – J9 – J17 – J10 – J8 – J11 – J3 – J2
3	J9 – J8 – J7 – J2 – J16 – J13 – J4 – J1 – J15 – J17 – J12 – J10 – J11 – J14 – J6 – J3 – J5
4	J12 – J4 – J6 – J16 – J9 – J11 – J10 – J5 – J14 – J3 – J13 – J8 – J17 – J7 – J1 – J15 – J2
5	J17 – J13 – J11 – J16 – J10 – J2 – J14 – J5 – J12 – J15 – J1 – J9 – J8 – J3 – J6 – J7 – J4
6	J14 – J15 – J9 – J12 – J6 – J7 – J1 – J4 – J5 – J17 – J16 – J13 – J10 – J8 – J3 – J11 – J2
7	J16 – J5 – J12 – J13 – J2 – J8 – J6 – J10 – J11 – J17 – J3 – J1 – J15 – J9 – J4 – J14 – J7
8	J8 – J7 – J13 – J4 – J1 – J5 – J16 – J6 – J3 – J14 – J12 – J2 – J9 – J15 – J11 – J17 – J10
9	J5 – J1 – J15 – J4 – J3 – J2 – J17 – J16 – J14 – J6 – J10 – J12 – J9 – J8 – J11 – J13 – J7
10	J5 – J8 – J14 – J6 – J1 – J2 – J16 – J9 – J7 – J12 – J13 – J10 – J4 – J17 – J3 – J15 – J11
11	J11 – J13 – J17 – J1 – J4 – J16 – J3 – J9 – J12 – J2 – J5 – J7 – J6 – J8 – J15 – J14 – J10
12	J5 – J2 – J7 – J16 – J12 – J17 – J8 – J3 – J6 – J10 – J11 – J15 – J9 – J1 – J13 – J4 – J14
13	J11 – J17 – J5 – J10 – J6 – J1 – J4 – J7 – J8 – J14 – J9 – J3 – J2 – J16 – J13 – J15 – J12
14	J16 – J15 – J13 – J10 – J17 – J7 – J4 – J6 – J9 – J14 – J1 – J2 – J8 – J3 – J11 – J12 – J5
15	J16 – J8 – J17 – J11 – J12 – J4 – J2 – J7 – J1 – J3 – J6 – J10 – J14 – J5 – J15 – J9 – J13
16	J4 – J10 – J14 – J9 – J3 – J16 – J7 – J6 – J12 – J17 – J13 – J5 – J2 – J1 – J11 – J8 – J15

---

*Job Sequence* Tiap Partikel
 

---

17	J1 – J2 – J6 – J17 – J15 – J5 – J9 – J11 – J14 – J12 – J10 – J4 – J13 – J8 – J7 – J61 – J3
18	J12 – J13 – J1 – J10 – J6 – J15 – J3 – J16 – J17 – J2 – J4 – J8 – J14 – J9 – J5 – J7 – J11
19	J6 – J1 – J15 – J14 – J9 – J4 – 10 – J7 – J3 – J2 – J16 – J17 – J12 – J11 – J8 – J5 – J13
20	J16 – J15 – J4 – J7 – J2 – J5 – J10 – J13 – J8 – J17 – J14 – J3 – J6 – J1 – J9 – J11 – J12
21	J11 – J16 – J13 – J9 – J12 – J2 – J14 – J17 – J8 – J1 – J4 – J15 – J3 – J7 – J6 – J10 – J5
22	J12 – J9 – J4 – J17 – J3 – J14 – J5 – J11 – J7 – J8 – J2 – J15 – J16 – J1 – J13 – J6 – J10
23	J15 – J7 – J12 – J13 – J6 – J5 – J2 – J1 – J3 – J4 – J10 – J17 – J14 – J16 – J11 – J9 – J8
24	J10 – J12 – J7 – J3 – J16 – J9 – J6 – J14 – J2 – J8 – J5 – J17 – J11 – J4 – J13 – J1 – J15
25	J1 – J7 – J4 – J8 – J6 – J10 – J13 – J2 – J11 – J5 – J14 – J15 – J12 – J17 – J16 – J9 – J3
26	J15 – J5 – J7 – J13 – J17 – J10 – J8 – J3 – J11 – J16 – J12 – J4 – J2 – J9 – J6 – J14 – J1
27	J6 – J4 – J9 – J12 – J11 – J15 – J10 – J14 – J7 – J3 – J16 – J17 – J8 – J5 – J1 – J13 – J2
28	J4 – J17 – J2 – J8 – J7 – J16 – J3 – J12 – J9 – J5 – J13 – J1 – J15 – J6 – J14 – J11 – J10
29	J4 – J11 – J16 – J9 – J12 – J1 – J6 – J13 – J8 – J2 – J15 – J5 – J3 – J14 – J10 – J7 – J17
30	J15 – J11 – J8 – J9 – J6 – J16 – J4 – J12 – J17 – J3 – J1 – J7 – J14 – J2 – J10 – J13 – J5

---

Pada tahap ini melakukan perhitungan *makespan* sebanyak 30 partikel dengan *job sequence* yang sudah ditetapkan pada tahap sebelumnya.

Tabel 4. 6 Nilai *Makespan* Partikel 1 Iterasi 0

Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	
7	0	135,17	135,17	135,17	122,61	257,79	257,79	3424,42	3682,20	3682,20	2360,26	6042,46	6042,46	213,85	6256,31	6256,31	373,02	6629,33	0,00
8	135,17	240,74	375,91	375,91	180,60	556,51	3682,20	4335,04	8017,24	8017,24	1794,38	9811,62	9811,62	1089,00	10900,63	1090,63	387,12	11287,75	3125,69
11	375,91	456,78	832,68	832,68	2905,23	3737,91	8017,24	463,52	8480,76	9811,62	895,51	10707,13	10707,13	1090,63	11035,23	1128,75	163,34	11451,08	6056,20
10	832,68	194,14	1026,83	3737,91	149,44	3887,35	8480,76	427,29	8908,05	1070,713	560,19	11267,32	1126,732	3576,36	14843,69	1484,369	237,15	15080,84	9103,57
16	1026,83	241,56	1268,39	3887,35	183,71	4071,05	8908,05	4351,61	13259,66	1325,966	1811,75	15071,41	1507,9141	367,49	15438,90	1543,890	362,58	15801,48	7455,96
17	1268,39	455,09	1723,49	4071,05	2911,42	6982,47	1325,966	462,47	13722,13	1507,141	896,77	15968,17	1596,817	215,36	16183,54	1618,354	163,14	16346,67	9974,03
9	1723,49	196,74	1920,23	6982,47	148,52	7130,99	1372,213	431,21	14153,35	1596,817	561,37	16529,54	1652,954	3809,12	20338,67	2033,67	237,15	20575,82	13468,21
1	1920,23	135,62	2055,85	7130,99	121,96	7252,95	1415,335	3510,18	17663,53	1766,353	2360,75	20024,27	2033,867	213,38	20552,05	2057,82	372,92	20948,75	12313,72
15	2055,85	196,80	2252,65	7252,95	148,88	7401,82	1766,353	432,35	18095,87	2002,427	580,22	20604,49	2060,449	3788,21	24392,70	2439,70	237,15	24629,86	17190,40

Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	
6	225	456,6	2709,3	7401	2930,	10332,	1809	464,2	18560,	2060	906,2	21510,	2439	119,3	24512,	2462	163,1	24792,	17499,81
	2,65	6	1	,82	95	77	5,87	2	10	4,49	0	69	2,70	7	08	9,86	2	98	
14	270	240,9	2950,2	1033	180,4	10513,	1856	4347,	22907,	2290	1880,	24787,	2478	364,7	25152,	2515	385,9	25538,	15429,42
	9,31	4	4	2,77	4	21	0,10	38	48	7,48	38	86	7,86	5	62	2,62	4	55	
12	295	195,3	3145,6	1051	148,2	10661,	2290	448,2	23355,	2478	693,7	25481,	2548	3553,	29035,	2903	237,1	29272,	21045,74
	0,24	9	4	3,21	7	48	7,48	2	70	7,86	7	63	1,63	93	56	5,56	5	72	
3	314	197,8	3343,4	1066	149,3	10810,	2335	430,2	23785,	2548	584,1	26065,	2903	3910,	32946,	3294	237,1	33183,	24528,44
	5,64	2	6	1,48	2	80	5,70	4	94	1,63	1	74	5,56	70	26	6,26	5	42	
13	334	196,9	3540,4	1081	149,8	10960,	2378	428,5	24214,	2606	574,3	26640,	3294	4005,	36951,	3695	237,1	37188,	28253,10
	3,46	7	3	0,80	8	67	5,94	0	44	5,74	5	10	6,26	38	64	1,64	5	80	
4	354	90,20	3630,6	1096	81,43	11042,	2421	2282,	26496,	2664	1573,	28213,	3695	142,5	37094,	3718	248,0	37436,	29478,23
	0,43		3	0,67		11	4,44	08	52	0,10	88	98	1,64	5	19	8,80	2	82	
2	363	90,45	3721,0	1104	81,46	11123,	2649	2282,	28779,	2877	1573,	30352,	3709	142,3	37236,	3743	248,5	37685,	29635,97
	0,63		8	2,11		57	6,52	55	07	9,07	46	53	4,19	0	49	6,82	0	32	
5	372	241,8	3962,9	1112	215,6	11339,	2877	4335,	33114,	3311	1839,	34953,	3723	368,2	37604,	3768	378,5	38063,	26963,68
	1,08	2	0	3,57	6	23	9,07	04	11	4,11	83	93	6,49	2	71	5,32	9	91	

Urutan job J7 – J8 – J11 – J10 – J16 – J17 – J9 – J1 – J15 – J6 – J14 – J12 – J3 – J13 – J4 – J2 – J5 pada partikel 1 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 38063,91 detik atau 10,57 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 271522,16 atau 75,42 jam.



Tabel 4. 7 Nilai *Makespan* Partikel 2 Iterasi 0

Parti kel 2	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
<i>Job</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	<i>Start</i>	<i>Durati on</i>	<i>Comple tion</i>	
15	0	196,8 0	196,80	196, 80	148,8 8	345,68	345, 68	432,3 5	778,03	778, 03	580,2 2	1358,2 4	1358 ,24	3788, 21	5146,4 6	5146 ,46	237,1 5	5383,6 1	0,00
13	196, 80	196,9 7	393,78	393, 78	149,8 8	543,65	778, 03	428,5 0	1206,5 2	1358 ,24	574,3 5	1932,5 9	5146 ,46	4005, 38	9151,8 4	9151 ,84	237,1 5	9388,9 9	3599,95
12	393, 78	195,3 9	589,17	589, 17	148,2 7	737,44	1206 ,52	448,2 2	1654,7 5	1932 ,59	693,7 7	2626,3 6	9151 ,84	3553, 93	12705, 77	1270 5,77	237,1 5	12942, 92	7272,41
14	589, 17	240,9 4	830,11	830, 11	180,4 4	1010,5 4	1654 ,75	4347, 38	6002,1 3	6002 ,13	1880, 38	7882,5 1	1270 5,77	364,7 5	13070, 52	1307 0,52	385,9 4	13456, 46	5467,45
1	830, 11	135,6 2	965,72	1010 ,54	121,9 6	1132,5 0	6002 ,13	3510, 18	9512,3 1	9512 ,31	2360, 75	11873, 06	1307 0,52	213,3 8	13283, 90	1345 6,46	372,9 2	13829, 38	6284,48
16	965, 72	241,5 6	1207,2 8	1207 ,28	183,7 1	1390,9 9	9512 ,31	4351, 61	13863, 92	1386 3,92	1811, 75	15675, 67	1567 5,67	367,4 9	16043, 16	1604 3,16	362,5 8	16405, 74	8121,32
6	120 7,28	456,6 6	1663,9 4	1663 ,94	2930, 95	4594,8 9	1386 3,92	464,2 2	14328, 14	1567 5,67	906,2 0	16581, 86	1658 1,86	119,3 7	16701, 24	1670 1,24	163,1 2	16864, 35	10616,55
7	166 3,94	135,1 7	1799,1 1	4594 ,89	122,6 1	4717,5 0	1432 8,14	3424, 42	17752, 56	1775 2,56	2360, 26	20112, 82	2011 2,82	213,8 5	20326, 67	2032 6,67	373,0 2	20699, 69	12406,41
4	179 9,11	90,20	1889,3 1	4717 ,50	81,43	4798,9 4	1775 2,56	2282, 08	20034, 63	2011 2,82	1573, 88	21686, 70	2168 6,70	142,5 5	21829, 25	2182 9,25	248,0 2	22077, 27	15859,99

Parti kel 2	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Durati on	Comple tion	Start	Durati on	Comple tion	Start	Durati on	Comple tion	Start	Durati on	Comple tion	Start	Durati on	Comple tion	Start	Durati on	Comple tion	
5	188 9,31	241,8 2	2131,1 3	4798 ,94	215,6 6	5014,6 0	2003 4,63	4335, 04	24369, 67	2436 9,67	1839, 83	26209, 50	2620 9,50	368,2 2	26577, 72	2657 7,72	378,5 9	26956, 31	17687,85
9	213 1,13	196,7 4	2327,8 8	5014 ,60	148,5 2	5163,1 1	2436 9,67	431,2 1	24800, 89	2620 9,50	561,3 7	26770, 87	2677 0,87	3809, 12	30579, 99	3057 9,99	237,1 5	30817, 15	23301,89
17	232 7,88	455,0 9	2782,9 7	5163 ,11	2911, 42	8074,5 3	2480 0,89	462,4 7	25263, 36	2677 0,87	896,7 7	27667, 64	3057 9,99	215,3 6	30795, 35	3081 7,15	163,1 4	30980, 28	23548,15
10	278 2,97	194,1 4	2977,1 2	8074 ,53	149,4 4	8223,9 7	2526 3,36	427,2 9	25690, 65	2766 7,64	560,1 9	28227, 83	3079 5,35	3576, 36	34371, 72	3437 1,72	237,1 5	34608, 87	26681,32
8	297 7,12	240,7 4	3217,8 5	8223 ,97	180,6 0	8404,5 7	2569 0,65	4335, 04	30025, 69	3002 5,69	1794, 38	31820, 07	3437 1,72	1089, 00	35460, 72	3546 0,72	387,1 2	35847, 84	24843,85
11	321 7,85	456,7 8	3674,6 3	8404 ,57	2905, 23	11309, 79	3002 5,69	463,5 2	30489, 21	3182 0,07	895,5 1	32715, 58	3546 0,72	134,6 1	35595, 33	3584 7,84	163,3 4	36011, 18	27774,35
3	367 4,63	197,8 2	3872,4 5	1130 9,79	149,3 2	11459, 11	3048 9,21	430,2 4	30919, 45	3271 5,58	584,1 1	33299, 69	3559 5,33	3910, 70	39506, 03	3950 6,03	237,1 5	39743, 18	30559,21
2	387 2,45	90,45 0	3962,9 0	1145 9,11	81,46 57	11540, 57	3091 9,45	2282, 55	33202, 00	3329 9,69	1573, 46	34873, 15	3950 6,03	142,3 0	39648, 33	3974 3,18	248,5 0	39991, 68	31700,51

Urutan *job* J15 – J13 – J12 – J14 – J1 – J16 – J6 – J7 – J4 – J5 – J9 – J17 – J10 – J8 – J11 – J3 – J2 pada partikel 2 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 39991,68 detik atau 11,11 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 2757251,71 atau 76,59 jam.

Tabel 4. 8 Nilai *Makespan* dan Total *Waiting Time Particle* Iterasi 0

	<i>Job Sequence</i> Tiap Swarm <i>Particle</i> (i)	Nilai <i>Makespan</i> ( <i>second</i> )	Total <i>Waiting Time</i> ( <i>second</i> )
1	J7 – J8 – J11 – J10 – J16 – J17 – J9 – J1 – J15 – J6 – J14 – J12 – J3 – J13 – J4 – J2 – J5	38063,91	271522,16
2	J15 – J13 – J12 – J14 – J1 – J16 – J6 – J7 – J4 – J5 – J9 – J17 – J10 – J8 – J11 – J3 – J2	39991,68	275725,71
3	J9 – J8 – J7 – J2 – J16 – J13 – J4 – J1 – J15 – J17 – J12 – J10 – J11 – J14 – J6 – J3 – J5	40741,92	311077,72
4	J12 – J4 – J6 – J16 – J9 – J11 – J10 – J5 – J14 – J3 – J13 – J8 – J17 – J7 – J1 – J15 – J2	38299,16	239202,40
5	J17 – J13 – J11 – J16 – J10 – J2 – J14 – J5 – J12 – J15 – J1 – J9 – J8 – J3 – J6 – J7 – J4	42548,27	322698,30
6	J14 – J15 – J9 – J12 – J6 – J7 – J1 – J4 – J5 – J17 – J16 – J13 – J10 – J8 – J3 – J11 – J2	40527,10	295948,10
7	J16 – J5 – J12 – J13 – J2 – J8 – J6 – J10 – J11 – J17 – J3 – J1 – J15 – J9 – J4 – J14 – J7	37469,50	293851,61
8	J8 – J7 – J13 – J4 – J1 – J5 – J16 – J6 – J3 – J14 – J12 – J2 – J9 – J15 – J11 – J17 – J10	46361,24	356518,17
9	J5 – J1 – J15 – J4 – J3 – J2 – J17 – J16 – J14 – J6 – J10 – J12 – J9 – J8 – J11 – J13 – J7	43016,73	315243,11
10	J5 – J8 – J14 – J6 – J1 – J2 – J16 – J9 – J7 – J12 – J13 – J10 – J4 – J17 – J3 – J15 – J11	50586,15	401308,34
11	J11 – J13 – J17 – J1 – J4 – J16 – J3 – J9 – J12 – J2 – J5 – J7 – J6 – J8 – J15 – J14 – J10	44214,4	308850,34
12	J5 – J2 – J7 – J16 – J12 – J17 – J8 – J3 – J6 – J10 – J11 – J15 – J9 – J1 – J13 – J4 – J14	43430,59	338800,65
13	J11 – J17 – J5 – J10 – J6 – J1 – J4 – J7 – J8 – J14 – J9 – J3 – J2 – J16 – J13 – J15 – J12	52117,59	352158,01

	<i>Job Sequence Tiap Swarm</i> <i>Particle (i)</i>	<i>Nilai</i> <i>Makespan</i> <i>(second)</i>	<i>Total</i> <i>Waiting</i> <i>Time</i> <i>(second)</i>
14	J16 – J15 – J13 – J10 – J17 – J7 – J4 – J6 – J9 – J14 – J1 – J2 – J8 – J3 – J11 – J12 – J5	38834,01	273108,54
15	J16 – J8 – J17 – J11 – J12 – J4 – J2 – J7 – J1 – J3 – J6 – J10 – J14 – J5 – J15 – J9 – J13	46249,45	296314,44
16	J4 – J10 – J14 – J9 – J3 – J16 – J7 – J6 – J12 – J17 – J13 – J5 – J2 – J1 – J11 – J8 – J15	39504,37	250413,78
17	J1 – J2 – J6 – J17 – J15 – J5 – J9 – J11 – J14 – J12 – J10 – J4 – J13 – J8 – J7 – J6 – J1 – J3	39237,94	233122,70
18	J12 – J13 – J1 – J10 – J6 – J15 – J3 – J16 – J17 – J2 – J4 – J8 – J14 – J9 – J5 – J7 – J11	36290,18	230457,12
19	J6 – J1 – J15 – J14 – J9 – J4 – J10 – J7 – J3 – J2 – J16 – J17 – J12 – J11 – J8 – J5 – J13	42472,15	288866,25
20	J16 – J15 – J4 – J7 – J2 – J5 – J10 – J13 – J8 – J17 – J14 – J3 – J6 – J1 – J9 – J11 – J12	42595,56	315215,53
21	J11 – J16 – J13 – J9 – J12 – J2 – J14 – J17 – J8 – J1 – J4 – J15 – J3 – J7 – J6 – J10 – J5	41292,85	313870,05
22	J12 – J9 – J4 – J17 – J3 – J14 – J5 – J11 – J7 – J8 – J2 – J15 – J16 – J1 – J13 – J6 – J10	43097,01	251464,60
23	J15 – J7 – J12 – J13 – J6 – J5 – J2 – J1 – J3 – J4 – J10 – J17 – J14 – J16 – J11 – J9 – J8	36526,11	234550,63
24	J10 – J12 – J7 – J3 – J16 – J9 – J6 – J14 – J2 – J8 – J5 – J17 – J11 – J4 – J13 – J1 – J15	39733,89	242604,05
25	J1 – J7 – J4 – J8 – J6 – J10 – J13 – J2 – J11 – J5 – J14 – J15 – J12 – J17 – J16 – J9 – J3	44900,37	314018,68
26	J15 – J5 – J7 – J13 – J17 – J10 – J8 – J3 – J11 – J16 – J12 – J4 – J2 – J9 – J6 – J14 – J1	36149,05	260216,65
27	J6 – J4 – J9 – J12 – J11 – J15 – J10 – J14 – J7 – J3 – J16 – J17 – J8 – J5 – J1 – J13 – J2	40959,01	279997,79

	<i>Job Sequence</i> Tiap <i>Swarm</i> <i>Particle</i> (i)	Nilai <i>Makespan</i> ( <i>second</i> )	Total <i>Waiting</i> <i>Time</i> ( <i>second</i> )
28	J4 – J17 – J2 – J8 – J7 – J16 – J3 – J12 – J9 – J5 – J13 – J1 – J15 – J6 – J14 – J11 – J10	44789,85	341329,46
29	J4 – J11 – J16 – J9 – J12 – J1 – J6 – J13 – J8 – J2 – J15 – J5 – J3 – J14 – J10 – J7 – J17	37199,5	259723,30
30	J15 – J11 – J8 – J9 – J6 – J16 – J4 – J12 – J17 – J3 – J1 – J7 – J14 – J2 – J10 – J13 – J5	41254,16	258784,00

Perhitungan *makespan* dan *waiting time* untuk partikel 3-30 dapat dilihat pada lampiran (A-1 – A-14).

#### 4.3.4 Menghitung Posisi Partikel (Z)

Pada tahap ini menghitung posisi partikel  $i$  pada iterasi  $t$  yaitu iterasi 0 untuk mengetahui posisi awal burung dalam mencari ruang solusi. Menghitung posisi partikel (Z) menggunakan rumus:

$$Z_i^t = (0,5 \times \text{tot waiting time}) + (0,5 \times \text{makespan}) \quad (4.2)$$

Tabel 4. 9 Nilai Z Iterasi 0

Partikel	Nilai <i>Makespan</i>	Total <i>Waiting Time</i>	Z
1	38063,91	271522,16	154793,0365
2	39991,68	275725,71	157858,6981
3	40741,92	311077,72	175909,8204
4	38299,16	239202,40	138750,7767
5	42548,27	322698,30	182623,2828
6	40527,10	295948,10	168237,5993
7	37469,50	293851,61	165660,5584
8	46361,24	356518,17	201439,7071
9	43016,73	315243,11	179129,9199
10	50586,15	401308,34	225947,2484
11	44214,4	308850,34	176532,3671
12	43430,59	338800,65	191115,6213
13	52117,59	352158,01	202137,7994

Partikel	Nilai <i>Makespan</i>	Total Waiting Time	Z
14	38834,01	273108,54	155971,273
15	46249,45	296314,44	171281,9458
16	39504,37	250413,78	144959,0733
17	39237,94	233122,70	136180,3186
18	36290,18	230457,12	133373,6489
19	42472,15	288866,25	165669,1975
20	42595,56	315215,53	178905,5446
21	41292,85	313870,05	177581,4502
22	43097,01	251464,60	147280,8065
23	36526,11	234550,63	135538,3677
24	39733,89	242604,05	141168,9688
25	44900,37	314018,68	179459,5242
26	36149,05	260216,65	148182,8498
27	40959,01	279997,79	160478,401
28	44789,85	341329,46	193059,6567
29	37199,5	259723,30	148461,4008
30	41254,16	258784,00	150019,0782

#### 4.3.5 Menghitung Nilai *Fitness*

Pada tahap ini menghitung nilai *fitness* partikel *i* pada iterasi *t* yaitu iterasi 0 yang nantinya akan dijadikan acuan untuk menentukan nilai terbaik yaitu *pbest* dan *gbest*. Mengevaluasi nilai *fitness* setiap partikel menggunakan rumus:

$$Fitness_{(i)}^t = (bignumber - Z) \quad (4.3)$$

*Bignumber* yang digunakan adalah 500.000.

Tabel 4. 10 Nilai *Fitness* Iterasi 0

Partikel	Z	<i>Fitness</i>
1	154793,0365	345206,9635
2	157858,6981	342141,3019
3	175909,8204	324090,1796
4	138750,7767	361249,2233
5	182623,2828	317376,7172
6	168237,5993	331762,4007

<b>Partikel</b>	<b>Z</b>	<b>Fitness</b>
7	165660,5584	334339,4416
8	201439,7071	298560,2929
9	179129,9199	320870,0801
10	225947,2484	274052,7516
11	176532,3671	323467,6329
12	191115,6213	308884,3787
13	202137,7994	297862,2006
14	155971,273	344028,727
15	171281,9458	328718,0542
16	144959,0733	355040,9267
17	136180,3186	363819,6814
18	133373,6489	366626,3511
19	165669,1975	334330,8025
20	178905,5446	321094,4554
21	177581,4502	322418,5498
22	147280,8065	352719,1935
23	135538,3677	364461,6323
24	141168,9688	358831,0312
25	179459,5242	320540,4758
26	148182,8498	351817,1502
27	160478,401	339521,599
28	193059,6567	306940,3433
29	148461,4008	351538,5992
30	150019,0782	349980,9218

#### 4.3.6 Menentukan *Personal Best* dan *Global Best*

Pada tahap ini menentukan *Personal Best* (*Pbest*) dan *Global Best* (*Gbest*) yang memiliki nilai paling besar yang merupakan nilai tersebut adalah nilai terbaik atau nilai minimum *waiting time* dan *makespan*. Pada iterasi 0 ini *Pbest* sama dengan nilai *fitness*. Berikut *Pbest* dan *Gbest* iterasi 0

Tabel 4. 11 *Pbest Gbest Iterasi 0*

<b>Partikel</b>	<b>Fitness</b>	<b>Pbest</b>	<b>Gbest</b>
1	345206,9635	345206,9635	366626,3511

<b>Partikel</b>	<b><i>Fitness</i></b>	<b><i>Pbest</i></b>	<b><i>Gbest</i></b>
2	342141,3019	342141,3019	
3	324090,1796	324090,1796	
4	361249,2233	361249,2233	
5	317376,7172	317376,7172	
6	331762,4007	331762,4007	
7	334339,4416	334339,4416	
8	298560,2929	298560,2929	
9	320870,0801	320870,0801	
10	274052,7516	274052,7516	
11	323467,6329	323467,6329	
12	308884,3787	308884,3787	
13	297862,2006	297862,2006	
14	344028,727	344028,727	
15	328718,0542	328718,0542	
16	355040,9267	355040,9267	
17	363819,6814	363819,6814	
18	366626,3511	366626,3511	
19	334330,8025	334330,8025	
20	321094,4554	321094,4554	
21	322418,5498	322418,5498	
22	352719,1935	352719,1935	
23	364461,6323	364461,6323	
24	358831,0312	358831,0312	
25	320540,4758	320540,4758	
26	351817,1502	351817,1502	
27	339521,599	339521,599	
28	306940,3433	306940,3433	
29	351538,5992	351538,5992	
30	349980,9218	349980,9218	

Nilai *Gbest* pada iterasi 0 ( $t=0$ ) adalah 366626,3511, yang mana nilai tersebut merupakan nilai minimum *makespan* dan *waiting time* ditunjukkan pada partikel 18 dengan urutan *job sequence* J12 – J13 – J1 – J10 – J6 – J15 – J3 – J16 – J17 – J2 – J4 – J8 – J14 – J9 –



J5 – J7 – J11 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 36290,18 detik atau 10,08 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 230457,12 detik atau 64,02 jam dengan rata-rata *waiting time* mesin adalah 3,76 jam.

#### 4.3.7 Update Nilai Velocity

Penyelesaian *update velocity* menggunakan rumus

$$v_{0,0} = wv_0 + C_1r_1(P_{0,0} - X_{0,0}) + C_2r_2(G_{0,0} - X_{0,0}) \quad (4.4)$$

Perhitungan *update velocity particle* membutuhkan bilangan acak untuk  $r_1$  dan  $r_2$ . Bilangan acak tersebut dibantu oleh rumus *excel* “=RAND()” untuk partikel  $i$  setiap  $job j$  dalam iterasi  $t$  yaitu iterasi 0. Berikut merupakan penjelasan rumus pada tahapan ini:

$$w = 0,5, v_0 = 0,5$$

$$C_1 = 2, C_2 = 2,$$

$$P_{0,0} = Pbest \text{ (tiap partikel)}, G_{0,0} = Pbest \text{ (kumpulan swarm terbaik)}$$

$$X_{0,0} = Posisi \text{ partikel (Bilangan random pada tabel 4.3)}$$

Tabel 4. 12 Bilangan Random (R1) Iterasi 0

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,6202	0,2522	0,4899	0,8514	0,2886	0,9762	0,1672	0,2521	0,0693	0,7633	0,3524	0,2080	0,9721	0,9058	0,5988	0,1228	0,5891
	21	00	94	73	43	98	50	31	15	32	03	18	70	88	22	23	21
2	0,2648	0,1433	0,3922	0,9747	0,6344	0,4492	0,3528	0,8112	0,0308	0,6439	0,6295	0,3539	0,1116	0,1901	0,4126	0,8681	0,9592
	26	96	34	42	18	83	42	34	52	11	54	66	53	39	12	14	79
3	0,6834	0,9259	0,9536	0,5112	0,5424	0,6600	0,5143	0,0234	0,0938	0,0818	0,3805	0,8346	0,9662	0,0618	0,1293	0,3258	0,9581
	74	88	90	08	58	02	43	29	45	39	33	03	73	62	26	77	99
4	0,7889	0,2247	0,0802	0,9378	0,1366	0,5586	0,6335	0,5709	0,8690	0,3514	0,5200	0,8143	0,7783	0,1647	0,0579	0,3789	0,0672
	10	86	13	47	16	71	78	36	73	39	39	64	31	26	59	63	89
5	0,9681	0,8379	0,6586	0,7036	0,6071	0,1165	0,9487	0,5292	0,3027	0,6319	0,4063	0,8506	0,9868	0,3767	0,8883	0,4644	0,0540
	93	15	92	75	67	30	67	92	16	02	58	65	17	30	71	21	37
6	0,2291	0,4962	0,8747	0,2643	0,2759	0,2733	0,3490	0,3368	0,2059	0,7992	0,1439	0,1632	0,7219	0,8157	0,4307	0,3153	0,1135
	84	74	42	96	49	53	72	27	33	07	67	14	76	31	32	59	13
7	0,9119	0,9875	0,1725	0,7824	0,4793	0,1302	0,7477	0,7480	0,4331	0,1362	0,9837	0,0935	0,1509	0,9886	0,5258	0,2797	0,9840
	10	94	04	88	02	14	60	60	48	18	08	92	22	71	22	17	87
8	0,7433	0,7368	0,3946	0,6076	0,3091	0,6237	0,5995	0,5600	0,2010	0,8846	0,0153	0,2787	0,6609	0,5598	0,3864	0,5091	0,0030
	33	96	42	18	89	59	70	56	24	03	56	24	03	21	05	06	90
9	0,5810	0,4075	0,8330	0,3555	0,0158	0,7612	0,8657	0,6796	0,5751	0,1195	0,7190	0,4711	0,6476	0,8515	0,0641	0,7582	0,3910
	79	48	39	92	09	95	91	22	11	80	50	92	09	27	99	60	29
10	0,8240	0,9304	0,6806	0,3760	0,8995	0,1094	0,9731	0,0917	0,1979	0,7143	0,2341	0,9569	0,1169	0,5999	0,6044	0,1522	0,3065
	93	71	05	28	78	43	62	95	95	82	44	05	47	99	71	02	45

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,9591	0,0023	0,0992	0,5561	0,0787	0,0840	0,4454	0,7526	0,2116	0,7081	0,1386	0,9597	0,5553	0,7561	0,1955	0,4872	0,8965
	14	31	66	52	00	31	29	53	30	43	59	06	99	91	29	95	57
12	0,8324	0,6770	0,2180	0,0277	0,1663	0,2574	0,4781	0,6217	0,2599	0,4951	0,8785	0,3764	0,6745	0,2986	0,7198	0,2591	0,3514
	61	68	07	19	50	39	72	18	77	54	29	72	55	98	64	81	34
13	0,2932	0,9778	0,9771	0,1461	0,1997	0,0019	0,1606	0,9871	0,5798	0,3986	0,2815	0,2408	0,6709	0,7618	0,9955	0,2121	0,2723
	56	18	09	74	90	09	57	41	24	87	77	15	72	49	57	83	10
14	0,9972	0,6209	0,3333	0,3680	0,9402	0,6017	0,7538	0,1677	0,2394	0,4486	0,1586	0,1715	0,1155	0,7917	0,0851	0,7370	0,1309
	32	42	39	56	34	71	63	85	55	59	06	03	83	67	23	08	55
15	0,4404	0,2618	0,7099	0,6746	0,6145	0,2410	0,9733	0,5879	0,5169	0,6004	0,4158	0,6750	0,3191	0,5016	0,3790	0,4420	0,6830
	85	74	04	16	22	41	30	14	02	69	93	82	71	24	04	23	27
16	0,9619	0,3410	0,7461	0,2677	0,3421	0,5657	0,8923	0,0047	0,4478	0,2809	0,3325	0,6276	0,2363	0,0108	0,9973	0,2101	0,6918
	17	50	86	17	08	30	94	67	87	04	35	12	48	63	98	93	02
17	0,1928	0,2782	0,9487	0,2960	0,2533	0,7819	0,3896	0,5986	0,4043	0,9851	0,3589	0,8980	0,5103	0,3214	0,0240	0,9193	0,8716
	29	55	22	21	78	71	57	07	78	72	32	93	93	56	02	01	02
18	0,1258	0,9875	0,9539	0,9597	0,9430	0,6317	0,4898	0,7950	0,9421	0,6748	0,5667	0,4370	0,7483	0,4046	0,9447	0,4520	0,9602
	65	07	73	15	05	25	83	20	17	12	56	44	25	72	08	21	41
19	0,1101	0,3647	0,2169	0,7501	0,1831	0,6322	0,6463	0,9810	0,4078	0,3475	0,2069	0,6572	0,9777	0,4356	0,9705	0,1646	0,0890
	21	74	52	41	14	87	04	95	41	39	51	99	87	90	22	99	11
20	0,3282	0,7233	0,2111	0,2462	0,9652	0,8701	0,5346	0,3508	0,2262	0,9634	0,2166	0,0948	0,3015	0,0990	0,0060	0,6508	0,0456
	75	69	91	69	15	24	79	89	60	20	31	81	38	01	50	91	28
21	0,2183	0,4789	0,7011	0,5447	0,2108	0,0877	0,2624	0,3477	0,0993	0,6660	0,3232	0,4505	0,0094	0,0431	0,7067	0,1439	0,0876
	50	59	92	56	40	15	35	09	81	86	75	40	36	94	93	99	69

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,9354 21	0,3335 87	0,5256 06	0,4653 43	0,5261 66	0,3408 33	0,0689 70	0,2146 65	0,4651 87	0,8296 46	0,5176 09	0,0335 88	0,1483 96	0,7162 79	0,9915 79	0,5908 37	0,0818 52
23	0,1086 78	0,3576 98	0,2380 56	0,8435 39	0,5202 24	0,4440 92	0,2953 79	0,4306 41	0,9156 91	0,4337 02	0,3798 17	0,4361 04	0,8515 66	0,7310 60	0,9861 75	0,4403 65	0,1653 66
24	0,7707 02	0,4449 88	0,6722 81	0,5491 92	0,6894 01	0,6666 17	0,7096 27	0,4583 92	0,6726 72	0,2765 10	0,9833 87	0,7405 68	0,6155 42	0,0389 68	0,6498 67	0,3396 31	0,5757 81
25	0,4690 57	0,8180 08	0,2271 09	0,6591 85	0,1892 18	0,8686 86	0,9146 45	0,0907 93	0,2763 47	0,2934 61	0,9135 83	0,8654 08	0,1401 08	0,0782 18	0,6362 49	0,4225 56	0,5094 63
26	0,0253 03	0,8853 94	0,5345 10	0,7078 23	0,8971 38	0,9724 75	0,2651 32	0,7494 00	0,7012 74	0,6293 38	0,4695 84	0,7779 82	0,7502 09	0,4582 24	0,7132 69	0,0701 42	0,8843 44
27	0,8248 37	0,0680 18	0,3547 17	0,8809 51	0,1743 87	0,3374 59	0,1902 51	0,8346 36	0,0789 93	0,2360 83	0,6588 43	0,1023 46	0,4194 89	0,2080 22	0,9027 10	0,0376 62	0,8118 38
28	0,5172 33	0,9678 35	0,7200 55	0,9872 49	0,4184 84	0,3728 58	0,6911 94	0,0958 20	0,3739 31	0,5982 27	0,2149 14	0,1160 48	0,4370 06	0,0920 46	0,8791 58	0,0242 00	0,5745 99
29	0,2266 45	0,1323 04	0,2807 74	0,5467 30	0,4676 60	0,9656 39	0,2008 12	0,6755 47	0,1134 63	0,9044 11	0,5539 13	0,9583 61	0,7319 00	0,7918 54	0,5962 84	0,3595 93	0,9876 05
30	0,0300 24	0,5249 51	0,2957 20	0,4990 38	0,9098 13	0,5480 99	0,0323 82	0,9682 58	0,7855 41	0,2149 49	0,6034 93	0,0569 49	0,1882 08	0,2027 66	0,9950 25	0,7333 74	0,4682 95

Tabel 4. 13 Bilangan Random (R2) Iterasi 0

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,4769	0,8501	0,5022	0,8313	0,6569	0,9427	0,5052	0,8360	0,6976	0,1696	0,0266	0,1446	0,1800	0,6585	0,7514	0,0061	0,6836
	10	72	90	22	10	96	48	95	10	56	70	76	25	87	30	42	34
2	0,5383	0,9422	0,7336	0,8567	0,1682	0,9825	0,5352	0,9754	0,0104	0,7286	0,7063	0,2814	0,8361	0,8692	0,6485	0,8619	0,8513
	35	76	69	82	43	42	59	68	35	02	89	76	90	56	97	21	21
3	0,4541	0,5314	0,2749	0,0292	0,1833	0,2409	0,7065	0,2372	0,4055	0,6009	0,5523	0,9035	0,8163	0,5947	0,5846	0,9569	0,0198
	53	00	75	72	37	95	36	08	04	34	49	61	08	50	58	30	67
4	0,1091	0,8449	0,7273	0,6887	0,2414	0,5125	0,4229	0,9718	0,5292	0,4555	0,8329	0,8509	0,8049	0,2523	0,9998	0,0550	0,3545
	52	49	03	36	32	53	90	34	48	11	33	95	55	70	61	55	66
5	0,3447	0,6776	0,7928	0,2038	0,7187	0,5463	0,0500	0,1292	0,9258	0,2907	0,6224	0,2448	0,5103	0,8384	0,7013	0,5097	0,5824
	92	20	75	51	24	14	96	93	95	52	65	89	34	02	56	83	51
6	0,7685	0,2701	0,7000	0,2261	0,6002	0,5186	0,8376	0,6447	0,4992	0,8879	0,3564	0,7530	0,1772	0,2688	0,8341	0,9382	0,5255
	40	37	11	05	86	05	51	48	53	64	76	95	52	12	77	39	91
7	0,2195	0,6600	0,2792	0,4410	0,7036	0,0942	0,0120	0,7404	0,3422	0,9471	0,1760	0,9785	0,1630	0,4877	0,3728	0,4430	0,5096
	07	67	91	93	03	87	78	32	62	32	01	91	08	17	10	66	86
8	0,3367	0,3061	0,7320	0,1083	0,0509	0,3544	0,8432	0,0360	0,0195	0,5658	0,4953	0,2616	0,3698	0,7355	0,7701	0,4610	0,5674
	21	55	69	65	65	42	33	26	51	15	42	21	07	44	79	66	14
9	0,5954	0,6052	0,4680	0,3946	0,9216	0,1681	0,4224	0,6272	0,7348	0,2732	0,6769	0,3715	0,7594	0,5789	0,7610	0,5031	0,4777
	93	85	44	87	47	85	60	35	02	48	31	35	66	66	76	65	44
10	0,5843	0,1313	0,3738	0,1045	0,0473	0,4400	0,3021	0,3762	0,2570	0,8123	0,7231	0,7781	0,0804	0,3210	0,8550	0,1915	0,6445
	55	72	51	66	80	86	92	86	23	18	03	18	99	89	98	50	38

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,6014 03	0,8453 68	0,3296 52	0,9689 68	0,4704 74	0,5195 51	0,4410 90	0,0589 00	0,0995 54	0,0019 78	0,3149 19	0,8402 49	0,5210 62	0,6840 63	0,1067 52	0,5479 42	0,5780 02
12	0,1488 00	0,2407 33	0,0806 15	0,4945 79	0,3588 34	0,8667 67	0,0834 78	0,0703 50	0,5106 79	0,8388 11	0,8021 29	0,4816 04	0,0923 27	0,8976 03	0,6525 51	0,8130 32	0,2217 55
13	0,1597 55	0,7047 50	0,3649 93	0,3350 69	0,4573 84	0,8392 67	0,1553 40	0,6119 74	0,9772 40	0,8580 12	0,1174 77	0,8874 52	0,8838 60	0,4874 78	0,8134 59	0,4611 49	0,9361 95
14	0,8275 36	0,7187 30	0,8236 56	0,6571 51	0,4649 59	0,2697 29	0,6856 15	0,2911 61	0,2955 28	0,8106 96	0,3931 13	0,5334 52	0,6004 89	0,2768 97	0,2579 14	0,2546 47	0,3166 09
15	0,8806 00	0,9385 66	0,7396 27	0,9668 17	0,3838 56	0,3206 43	0,4750 97	0,2415 76	0,7257 82	0,9506 44	0,4668 51	0,7881 49	0,8621 58	0,8940 80	0,2870 91	0,0232 46	0,3366 75
16	0,5693 62	0,0160 55	0,8750 88	0,1986 95	0,9168 06	0,1888 71	0,0336 90	0,6851 75	0,8373 77	0,2510 37	0,4812 61	0,0068 10	0,8810 92	0,9825 69	0,0791 80	0,7577 48	0,4132 18
17	0,0465 51	0,3352 37	0,9175 82	0,7316 22	0,3467 97	0,2753 00	0,7512 86	0,6343 12	0,2087 91	0,8712 85	0,2518 99	0,1783 58	0,9177 07	0,8458 19	0,2615 18	0,4948 48	0,0906 33
18	0,2953 82	0,5080 02	0,0489 66	0,9215 58	0,6957 53	0,5478 96	0,9043 80	0,5255 67	0,8240 53	0,1803 67	0,9224 62	0,0571 77	0,2371 63	0,9467 61	0,5421 72	0,8439 10	0,3381 77
19	0,5565 05	0,9140 49	0,8518 21	0,0515 88	0,9614 29	0,0613 75	0,3211 04	0,2273 20	0,2945 95	0,4642 87	0,0429 06	0,2541 75	0,8872 53	0,6133 39	0,1546 79	0,9583 90	0,6050 85
20	0,8613 01	0,8938 97	0,6034 19	0,9501 63	0,0768 91	0,3250 98	0,0780 30	0,1353 35	0,1859 98	0,7213 25	0,2587 95	0,4271 17	0,4198 31	0,1703 40	0,6811 22	0,8111 11	0,7402 43
21	0,6865 81	0,8803 55	0,0019 29	0,6451 06	0,5605 76	0,9952 69	0,1262 33	0,6958 89	0,6471 98	0,3676 09	0,8694 91	0,7929 32	0,2790 04	0,2915 85	0,7572 11	0,4388 12	0,2334 33

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,7819 17	0,9913 69	0,3051 32	0,8688 97	0,0900 38	0,3894 00	0,7103 34	0,7156 34	0,4871 21	0,0378 49	0,4796 92	0,1807 97	0,2278 05	0,5203 45	0,3871 65	0,9995 32	0,2604 31
23	0,2152 99	0,3543 68	0,9943 82	0,0542 44	0,3893 76	0,4274 07	0,7005 86	0,2172 88	0,5944 64	0,7401 39	0,9033 83	0,1352 72	0,1674 83	0,6828 66	0,1504 92	0,5540 77	0,3787 90
24	0,3186 53	0,2485 77	0,0170 50	0,7904 57	0,3820 65	0,3685 27	0,0768 35	0,6327 60	0,0080 46	0,1554 44	0,8015 27	0,4268 87	0,0658 28	0,6843 46	0,9541 23	0,9625 03	0,0062 01
25	0,4001 38	0,2204 45	0,6389 78	0,5639 19	0,0030 42	0,3385 00	0,6628 65	0,2672 41	0,5103 32	0,6295 44	0,1761 68	0,8559 06	0,3867 86	0,0561 09	0,5978 16	0,2797 43	0,8124 48
26	0,7855 57	0,9882 98	0,2027 09	0,7227 53	0,1148 01	0,3783 07	0,2116 57	0,8366 83	0,6191 84	0,6738 39	0,9968 80	0,5953 77	0,5144 72	0,3409 20	0,2941 58	0,9195 93	0,4147 03
27	0,8981 14	0,8963 91	0,2532 49	0,6226 51	0,5162 00	0,0471 89	0,2277 20	0,9120 00	0,0256 88	0,9915 83	0,1199 54	0,5142 32	0,8549 44	0,9096 82	0,6741 93	0,0017 53	0,1016 33
28	0,4086 85	0,8670 08	0,7583 19	0,1738 35	0,9394 49	0,9238 78	0,8266 09	0,9272 34	0,6688 53	0,6150 95	0,7858 91	0,1187 29	0,1102 45	0,4472 57	0,8871 23	0,4575 34	0,9928 54
29	0,5075 86	0,0673 11	0,5892 08	0,9931 70	0,8999 73	0,0310 94	0,2080 53	0,9213 60	0,5286 36	0,9443 73	0,3136 50	0,4231 78	0,8991 37	0,9128 50	0,6429 79	0,8103 58	0,3868 63
30	0,4200 00	0,7075 49	0,8657 97	0,7398 93	0,3119 02	0,8379 92	0,0055 87	0,7037 28	0,6403 20	0,6392 14	0,8724 77	0,1605 02	0,2175 57	0,6598 09	0,5708 37	0,0607 53	0,5331 97

1. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 1 *job* 1 iterasi 0

$$v_{1,1} = wv_0 + C_1r_1(P_{1,0} - X_{1,1}) + C_2r_2(G_0 - X_{1,1})$$

$$v_{1,1} = 0,5 \times 0,5 + 2 \times 0,62 (345206 - 0,49) + 2 \times 0,48 (366626,3 - 0,49)$$

$$v_{1,1} = 777904$$

2. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 2 *job* 2 iterasi 0

$$v_{2,2} = wv_0 + C_1r_1(P_{2,0} - X_{2,2}) + C_2r_2(G_0 - X_{2,2})$$

$$v_{2,2} = 0,5 \times 0,5 + 2 \times 0,143 (342141 - 0,97) + 2 \times 0,94 (366626,3 - 0,97)$$

$$v_{2,2} = 789048$$

3. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 3 *job* 3 iterasi 0

$$v_{3,3} = wv_0 + C_1r_1(P_{3,0} - X_{3,3}) + C_2r_2(G_0 - X_{3,3})$$

$$v_{3,3} = 0,5 \times 0,5 + 2 \times 0,953 (324090 - 0,96) + 2 \times 0,27 (366626,3 - 0,96)$$

$$v_{3,3} = 819787$$

4. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 4 *job* 4 iterasi 0

$$v_{4,4} = wv_0 + C_1r_1(P_{4,0} - X_{4,4}) + C_2r_2(G_0 - X_{4,4})$$

$$v_{4,4} = 0,5 \times 0,5 + 2 \times 0,94 (361249,2 - 0,18) + 2 \times 0,69 (366626,3 - 0,18)$$

$$v_{4,4} = 1182610$$

5. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 30 *job* 17 iterasi 0

$$v_{30,17} = wv_0 + C_1r_1(P_{30,0} - X_{30,17}) + C_2r_2(G_0 - X_{30,17})$$

$$v_{30,17} = 0,5 \times 0,5 + 2 \times 0,47 (349980 - 0,53) + 2 \times 0,533 (366626,3 - 0,53)$$

$$v_{30,17} = 718756$$



Berikut merupakan perbaruan nilai kecepatan partikel  $i$  job  $j$  iterasi 0

Tabel 4. 14 *Update Velocity* Iterasi 0

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	77790	79751	70660	11974	68096	13653	48594	78714	55938	65141	26286	24970	80320	11083	96442	89303	90801
	4	1	3	35	2	55	6	4	0	5	0	2	1	47	2		3
2	57595	78904	80636	12952	55748	10278	63392	12703	28763	97486	94875	44860	68954	76749	75792	12260	12806
	1	8	2	35	6	87	3	75		4	2	6	0	3	9	40	49
3	77602	98985	81978	35281	48604	60450	85145	18912	35816	49368	65166	12035	12248	47619	51252	91289	63565
	3	7	7	9	2	9	6	0	5	2	5	10	77	9	8	8	2
4	65002	78196	59125	11826	27573	77947	76791	11250	10159	58791	98647	12123	11525	30406	77502	31417	30860
	1	6	0	10	6	0	6	98	75	8	8	71	76	5	4	0	2
5	86738	10287	99948	59613	91240	47455	63896	43077	87106	61429	71436	71952	10005	85389	10781	66859	46138
	2	35	3	3	6	3	4	3	3	6	2	7	89	0	65	2	4
6	71560	52736	10936	34122	62325	56164	84582	69625	50272	11813	35691	66050	60901	73836	89746	89721	46071
	3	7	96	5	9	5	7	6	1	94	2	5	9	5	4	4	0
7	77072	11443	32014	84666	83641	15620	50886	10431	54060	78557	78683	78013	22044	10187	62497	51192	10317
	8	78	0	4	7	7	6	35	1	2	7	7	4	21	0	1	65
8	69076	66450	77244	44228	22199	63235	97631	36083	13437	94309	37237	35826	66580	87361	79546	64207	41790
	1	4	0	0	3	4	8	8	1	8	9	6	0	9	5	5	2
9	80131	69959	86598	51256	68572	60108	85310	88642	89971	27540	94761	56813	96329	95891	59835	84480	59570
	2	0	2	3	1	4	9	9	4	4	1	3	6	7	0	5	3
10	88016	60632	64716	28277	52780	38268	75497	32622	29698	98719	65855	10950	12312	56430	95831	22387	64062
	9	5	9	6	5	1	8	6	5	0	2	40	6	2	4	7	8

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	10614	62137	30593	10702	39588	43532	61159	53010	20990	45957	32061	12369	74137	99079	20477	71702	10038
	65	6	7	93	9	4	3	5	9	2	8	81	8	6	1	8	36
12	62337	59479	19378	37977	36588	79459	35661	43566	53506	92095	11308	58571	48441	84269	92319	75627	37970
	5	0	9	5	2	7	1	2	1	0	89	1	7	4	3	2	8
13	29184	10992	84971	33277	45439	61653	20961	10367	10619	86664	25388	79418	10478	81129	11895	46454	84869
	1	67	8	0	8	2	1	94	77	7	3	4	05	5	45	1	0
14	12929	95425	83330	73510	98786	61183	10214	32894	38145	90314	39738	50915	51983	74781	24768	69382	32225
	44	3	3	0	5	2	30	0	5	8	1	8	9	6	6	4	9
15	93529	86037	10090	11524	68547	39358	98826	56365	87201	10918	61574	10217	84201	98537	45968	30764	69591
	2	1	49	37	1	1	8	2	0	31	3	36	2	0	0	8	5
16	11005	25394	11715	33579	91517	54020	65837	50579	93204	38353	58901	45064	81388	72818	76629	70487	79422
	24	6	13	5	4	5	6	0	5	8	2	9	9	5	1	5	9
17	17444	44828	13631	75185	43865	77085	83441	90067	44733	13557	44587	78426	10442	85410	20922	10317	70066
	4	3	43	9	7	6	0	9	8	19	8	8	91	2	4	66	8
18	30888	10965	73540	13794	12016	86496	10223	96832	12950	62706	10919	36238	72261	99094	10902	95024	95206
	1	85	7	47	21	0	45	3	47	2	70	9	2	0	58	4	7
19	48169	91413	76966	53941	82741	46778	66760	82270	48872	57282	16984	62588	13043	74106	76236	81286	50319
	2	8	7	7	0	9	8	2	0	5	1	4	86	1	9	9	8
20	84236	11199	57808	85486	67623	79716	40058	32457	28168	11476	32887	37411	50148	18848	50332	10127	57208
	4	92	3	0	1	2	0	2	5	10	9	6	6	0	0	44	6
21	64423	95437	45356	82430	54700	78634	26178	73447	53864	69906	84601	87194	21066	24165	10109	41461	22769
	7	3	8	4	0	4	9	8	5	6	6	4	5	9	92	6	8

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	12332	96224	59452	96539	43719	52596	56950	67617	68534	61301	71687	15626	27172	88683	98338	11497	24870
	22	8	1	2	8	4	8	2	4	6	6	4	2	5	6	07	4
23	23708	52057	90265	65464	66471	63710	72901	47323	11033	85884	93926	41707	74353	10335	82919	72726	39828
	6	6	7	9	4	6	5	0	58	3	3	5	3	98	5	9	7
24	78675	50162	49497	97373	77490	74862	56561	79294	48865	31242	12934	84449	49001	52976	11659	94949	41776
	5	0	3	7	6	8	2	2	1	1	59	4	9	4	95	8	3
25	59410	68605	61412	83608	12353	80510	10724	25416	55136	64974	71485	11823	37343		84623	47601	92233
	6	0	6	5	5	3	09	1	2	7	5	89	2	91286	6	4	5
26	59381	13476	52473	10280	71543	96165	34175	11408	94745	93691	10613	98397	90511	57240	71757	72364	92633
	5	63	6	07	5	9	4	03	7	8	79	5	1	1	3	7	6
27	12186	70346	42656	10547	49692	26375	29616	12354		88739	53533	44655	91173	80828	11073		62579
	41	7	4	64	0	1	5	78	72476	1	9	9	9	2	32	26859	5
28	61718	12298	99806	73351	94575	90632	10304	73872	71998	81825	70818	15829	34910	38445	11901	35034	10807
	8	71	7	8	2	5	24	0	7	9	7	8	7	7	82	4	48
29	53153	14237	62944	11126	98870	70171	29374	11505	46739	13283	61942	98409	11738	12260	89069	84701	97802
	8	6	3	39	7	8	2	50	7	32	8	8	75	81	9	9	8
30	32898	88625	84183	89183	86553	99810		11937	10193	61916	10621	15755	29126	62573	11150	55788	71875
	1	6	9	6	5	8	26763	54	65	0	68	0	2	4	48	1	6

#### 4.3.8 Update Posisi Partikel

Tahapan ini adalah memperbarui posisi partikel  $i$  job  $j$  pada iterasi 0 supaya memperbarui posisi partikel dalam mencari ruang solusi yang lebih baik. *Update* posisi partikel menggunakan rumus:

$$\text{Posisi partikel} = x_{0,0} + v_{0,0} \quad (4.5)$$

Berikut merupakan penjelasan rumus pada tahapan ini:

$X_{0,0}$  = *Posisi partikel* (Bilangan random pada tabel 4.3)

$V_{0,0}$  = *Velocity* (nilai *update velocity* pada tabel 4.13)

Contoh perhitungan *update* posisi partikel  $i$  setiap job  $j$  iterasi 0

1.  $\text{Posisi partikel}_{1,1} = x_{1,1} + v_{1,1}$

$$\text{Posisi partikel}_{1,1} = 0,49 + 777904 = 777904,64$$

2.  $\text{Posisi partikel}_{2,2} = x_{2,2} + v_{2,2}$

$$\text{Posisi partikel}_{2,2} = 0,97 + 789048 = 789048,89$$

3.  $\text{Posisi partikel}_{3,3} = x_{3,3} + v_{3,3}$

$$\text{Posisi partikel}_{3,3} = 0,96 + 819787 = 819788,08$$

4.  $\text{Posisi partikel}_{4,4} = x_{4,4} + v_{4,4}$

$$\text{Posisi partikel}_{4,4} = 0,18 + 1182610 = 1182610,54$$

5.  $\text{Posisi partikel}_{30,17} = x_{30,17} + v_{30,17}$

$$\text{Posisi partikel}_{30,17} = 0,53 + 718756 = 718756,42$$

Tabel 4. 15 *Update* Posisi Partikel Iterasi 0

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	77790	79751	70660	11974	68096	13653	48594	78714	55938	65141	26285	24970	80320	11083	96442	89303,	90801
	4,64	2,39	3,92	35,79	3,22	55,42	5,94	3,91	0,33	5,63	9,91	2,77	2,38	47,54	2,24	11	3,24
2	57595	78904	80636	12952	55748	10278	63392	12703	28763,	97486	94875	44860	68954	76749	75792	12260	12806
	1,29	8,89	2,54	35,64	6,13	87,83	3,39	75,83	77	4,71	3,01	5,73	0,44	3,12	8,88	40,15	49,61
3	77602	98985	81978	35281	48604	60450	85145	18911	35816	49368	65166	12035	12248	47619	51252	91289	63565
	3,11	7,76	8,08	9,29	2,60	9,59	6,51	9,72	5,39	3,05	5,44	10,89	77,89	9,96	8,82	8,47	2,62
4	65002	78196	59125	11826	27573	77947	76791	11250	10159	58791	98647	12123	11525	30406	77502	31417	30860
	1,59	7,35	0,22	10,54	6,48	0,17	7,13	98,50	75,74	8,55	7,96	70,99	76,49	5,88	5,43	0,19	3,15
5	86738	10287	99948	59613	91240	47455	63896	43077	87106	61429	71436	71952	10005	85389	10781	66859	46138
	2,66	35,70	3,44	3,83	6,76	3,52	4,91	4,31	3,60	6,69	1,82	7,87	89,44	0,68	66,17	2,58	4,00
6	71560	52736	10936	34122	62325	56164	84582	69625	50272	11813	35691	66050	60901	73836	89746	89721	46071
	3,60	8,24	96,81	5,57	9,73	4,86	7,05	6,23	0,87	94,52	3,02	5,13	9,51	5,49	4,05	4,18	0,19
7	77072	11443	32014	84666	83641	15620	50886	10431	54060	78557	78683	78013	22044	10187	62497	51192	10317
	8,74	78,25	1,03	4,86	7,62	7,60	7,11	35,01	1,41	2,79	7,55	7,16	4,67	21,67	0,23	0,76	66,07
8	69076	66450	77244	44228	22199	63235	97631	36083	13437	94309	37238	35826	66580	87361	79546	64207	41790
	0,86	4,70	0,70	0,37	3,21	4,39	8,50	7,53	1,98	8,79	0,16	6,49	0,49	9,88	5,86	5,42	2,64
9	80131	69959	86598	51256	68572	60108	85311	88642	89971	27540	94761	56813	96329	95891	59835	84480	59570
	2,30	0,46	1,85	3,34	1,17	4,81	0,39	9,37	5,12	4,09	2,26	3,30	6,97	7,09	0,26	5,46	3,64
10	88016	60632	64716	28277	52780	38268	75497	32622	29698	98719	65855	10950	12312	56430	95831	22387	64062
	9,65	5,11	9,64	6,60	5,17	1,14	8,61	6,24	5,53	0,85	2,63	40,93	6,07	2,49	4,95	7,35	8,32

Part ikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	10614	62137	30593	10702	39589	43532	61159	53010	20990	45957	32061	12369	74137	99079	20477	71702	10038
	65,31	6,14	6,89	92,75	0,00	5,29	3,71	6,27	9,51	2,61	8,49	81,93	7,63	6,51	1,79	7,87	35,80
12	62337	59478	19378	37977	36588	79459	35661	43566	53506	92095	11308	58571	48441	84269	92319	75627	37970
	6,19	9,55	9,46	5,80	1,94	6,90	0,93	2,49	1,90	0,56	89,85	0,69	7,57	4,70	3,72	2,30	7,71
13	29184	10992	84971	33277	45439	61653	20961	10367	10619	86664	25388	79418	10478	81129	11895	46454	84868
	1,25	68,21	8,83	0,47	7,73	1,97	1,31	94,45	77,83	7,08	3,36	5,27	05,85	5,72	46,26	1,44	9,67
14	12929	95425	83330	73510	98786	61183	10214	32894	38145	90314	39738	50915	51983	74781	24768	69382	32225
	44,29	3,89	3,72	0,68	6,31	2,39	30,05	0,57	5,84	7,75	1,41	9,36	8,75	6,54	5,93	4,38	9,62
15	93529	86037	10090	11524	68547	39358	98826	56365	87201	10918	61574	10217	84201	98537	45968	30764	69591
	2,16	0,91	49,43	37,52	1,85	1,41	8,21	2,30	0,92	31,12	2,81	35,73	3,17	0,85	1,04	7,88	4,74
16	11005	25394	11715	33579	91517	54020	65837	50579	93204	38353	58901	45064	81388	72818	76629	70487	79422
	24,64	6,31	13,53	4,79	4,42	5,00	6,39	0,91	5,53	8,15	2,66	9,75	9,33	5,29	2,12	4,99	9,39
17	17444	44828	13631	75185	43865	77085	83441	90067	44733	13557	44587	78426	10442	85410	20922	10317	70066
	4,07	3,00	44,36	9,57	7,47	6,78	1,07	9,44	8,71	19,62	8,73	8,82	91,76	2,46	4,30	66,50	8,53
18	30888	10965	73540	13794	12016	86496	10223	96832	12950	62706	10919	36238	72261	99094	10902	95024	95206
	0,72	85,18	7,60	47,14	21,64	0,26	45,77	3,23	47,49	2,16	71,40	9,08	1,95	0,38	58,12	4,67	7,90
19	48169	91413	76966	53941	82741	46778	66760	82270	48872	57282	16984	62588	13043	74106	76236	81286	50319
	2,37	8,77	7,41	7,39	0,50	9,34	8,86	2,49	0,28	5,27	1,98	5,06	86,59	1,57	9,27	9,23	8,43
20	84236	11199	57808	85486	67623	79716	40058	32457	28168	11476	32888	37411	50148	18848	50332	10127	57208
	5,17	91,95	3,18	0,40	1,27	2,52	0,60	2,16	5,47	10,79	0,39	6,66	6,73	0,18	0,02	44,31	6,80
21	64423	95437	45356	82430	54700	78634	26178	73447	53864	69906	84601	87194	21066	24165	10109	41461	22769
	7,22	2,92	9,18	4,25	0,98	4,80	9,40	8,37	4,68	6,50	6,42	4,06	5,36	9,21	92,76	6,14	7,89

Part ikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	12332	96224	59452	96539	43719	52596	56950	67617	68534	61301	71687	15626	27172	88683	98338	11497	24870
	23,05	8,38	1,66	1,71	8,63	4,77	8,68	2,78	3,74	6,70	6,47	4,28	3,12	5,04	6,69	07,70	3,68
23	23708	52057	90265	65464	66471	63710	72901	47323	11033	85884	93926	41707	74353	10335	82919	72727	39828
	6,79	6,25	7,41	9,52	3,99	6,85	5,47	1,20	59,16	3,35	4,10	5,50	2,97	98,72	4,66	0,06	8,07
24	78675	50162	49497	97373	77490	74862	56561	79294	48865	31242	12934	84449	49002	52976	11659	94949	41776
	5,86	1,06	3,17	8,05	6,71	8,75	1,86	3,00	1,16	0,80	59,66	4,22	0,06	4,64	96,36	7,92	3,34
25	59410	68605	61412	83608	12353	80510	10724	25416	55136	64974	71485	11823	37343	91286,	84623	47601	92233
	6,24	0,58	6,89	5,65	5,57	3,75	08,79	1,40	3,12	7,44	5,52	89,96	2,40	47	6,53	4,85	5,66
26	59381	13476	52473	10280	71543	96165	34175	11408	94745	93691	10613	98397	90511	57240	71757	72364	92633
	5,81	63,96	6,55	07,86	4,79	9,89	4,20	03,50	8,09	8,08	79,73	6,09	1,05	1,97	2,65	7,49	6,63
27	12186	70346	42656	10547	49692	26375	29616	12354	72475,	88739	53533	44655	91173	80828	11073	26859,	62579
	42,37	8,11	4,14	64,48	1,37	0,82	5,60	78,80	85	1,23	9,44	9,52	9,68	2,61	32,59	92	5,76
28	61718	12298	99806	73351	94575	90632	10304	73871	71998	81825	70818	15829	34910	38445	11901	35034	10807
	8,56	71,34	7,29	8,15	2,61	5,30	23,98	9,57	7,12	9,46	8,05	8,26	6,98	7,81	82,23	3,79	48,31
29	53153	14237	62944	11126	98870	70171	29374	11505	46739	13283	61942	98409	11738	12260	89069	84701	97802
	7,88	6,38	3,86	38,62	7,59	7,96	2,39	50,48	7,05	32,81	8,12	8,31	75,67	82,02	9,22	8,66	9,14
30	32898	88625	84183	89183	86553	99810	26763,	11937	10193	61916	10621	15755	29126	62573	11150	55788	71875
	1,53	7,03	9,85	5,90	6,45	8,10	79	54,30	65,16	1,11	68,17	0,64	3,12	4,84	47,77	1,32	6,42

#### 4.3.9 Update Iterasi

Pada langkah ini adalah memperbarui iterasi dengan menggunakan rumus:

$$t = t + 1 \quad (4.6)$$

Langkah ini memperbarui iterasi menjadi iterasi 1 atau  $t=1$ . Tahapan pada langkah ini adalah mengulangi dari langkah 7 yaitu menentukan posisi partikel  $i$  suatu *job j* dalam iterasi  $t$  dengan membangkitkan bilangan random sampai dengan langkah 13 yaitu memperbarui posisi partikel  $i$  suatu *job j* dalam iterasi  $t$ .

##### 4.3.9.1 Membangkitkan Bilangan Random

Sama seperti iterasi sebelumnya, langkah ini ditujukan untuk menentukan posisi awal partikel dibantu dengan formulasi rumus *excel* “=RAND()”. Nilai bilangan random dengan range [0,1]. Berikut adalah bilangan acak untuk partikel  $i$  suatu *job j* dalam iterasi 1.



Tabel 4. 16 Bilangan Random ( $X_{0,0}$ ) Iterasi 1

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,6825	0,6767	0,1653	0,0364	0,6251	0,2840	0,2526	0,9467	0,1525	0,0542	0,9423	0,4404	0,5151	0,1056	0,9820	0,2357	0,4557
	42	53	34	13	10	50	33	44	07	54	79	42	16	05	73	76	86
2	0,1005	0,6362	0,3259	0,1447	0,4332	0,1226	0,6320	0,3577	0,2153	0,7459	0,2098	0,6774	0,5305	0,5350	0,1074	0,3067	0,5331
	20	04	97	64	27	20	53	28	02	54	06	28	78	82	73	84	82
3	0,9032	0,6361	0,8999	0,6499	0,9849	0,7850	0,1309	0,0889	0,4613	0,6082	0,6544	0,4179	0,8467	0,6963	0,2006	0,4871	0,2158
	42	57	18	61	94	35	27	14	78	14	75	82	50	06	12	24	72
4	0,0063	0,6995	0,0084	0,4991	0,1653	0,7271	0,3917	0,9860	0,3270	0,1854	0,3627	0,7946	0,6066	0,9138	0,9632	0,5505	0,6799
	73	26	07	60	09	12	16	28	73	12	80	27	49	58	20	62	28
5	0,4741	0,2343	0,3296	0,0979	0,0034	0,2723	0,5537	0,4025	0,4994	0,9541	0,8354	0,6802	0,8088	0,6156	0,7596	0,0942	0,8730
	89	84	20	80	96	05	77	95	00	49	09	77	45	90	42	50	43
6	0,3452	0,6179	0,9149	0,7019	0,4106	0,9290	0,1951	0,4279	0,4924	0,2436	0,7196	0,6147	0,8091	0,0149	0,1577	0,4408	0,2085
	78	83	18	46	62	93	97	30	66	36	67	39	58	19	06	32	91
7	0,8343	0,0886	0,0921	0,4636	0,0845	0,5143	0,8744	0,7046	0,5982	0,4631	0,0574	0,7424	0,0027	0,4968	0,7460	0,4909	0,1387
	27	83	83	44	95	49	70	19	68	63	51	85	79	57	18	35	25
8	0,5823	0,3933	0,0874	0,4974	0,5803	0,6359	0,3137	0,6618	0,8952	0,9069	0,9735	0,1531	0,9544	0,1283	0,6563	0,7516	0,0743
	31	47	50	67	35	54	97	16	15	05	84	62	25	43	69	78	08
9	0,3953	0,9984	0,3110	0,1852	0,6011	0,5143	0,2117	0,7437	0,2116	0,1766	0,2442	0,2546	0,9564	0,5335	0,8795	0,5712	0,3001
	30	32	58	63	04	51	01	50	03	18	14	87	70	41	87	65	63
10	0,3632	0,7747	0,5043	0,4008	0,9882	0,1537	0,6393	0,2162	0,7529	0,0536	0,9999	0,6116	0,2207	0,1637	0,0265	0,8962	0,5061
	57	18	62	38	12	83	92	25	54	79	60	94	27	70	18	86	20

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,5989 49	0,8298 92	0,3523 65	0,4019 96	0,0834 82	0,2377 70	0,1256 39	0,6615 28	0,3960 51	0,8750 78	0,9535 68	0,2408 44	0,6286 54	0,3091 55	0,7214 46	0,0599 86	0,1434 62
12	0,3556 59	0,3778 80	0,5003 60	0,5353 19	0,3442 48	0,7587 17	0,9511 04	0,6398 12	0,4110 59	0,2366 25	0,8532 39	0,1642 54	0,7659 02	0,6877 56	0,9577 58	0,7255 95	0,1285 62
13	0,2210 50	0,0620 14	0,9911 41	0,6727 58	0,5146 94	0,1392 21	0,0367 99	0,3229 31	0,7589 09	0,4510 33	0,2096 37	0,8828 48	0,0961 02	0,4046 38	0,1179 50	0,9008 63	0,3660 75
14	0,8207 57	0,1292 17	0,9097 75	0,4088 54	0,4591 18	0,8209 97	0,2382 17	0,3371 74	0,0812 96	0,0512 55	0,4964 93	0,2231 82	0,1027 13	0,8065 36	0,0342 76	0,0604 10	0,6708 30
15	0,2175 54	0,5287 14	0,3165 34	0,7479 36	0,7856 37	0,3884 77	0,8766 66	0,2915 74	0,2397 12	0,8366 89	0,5625 33	0,7562 04	0,6669 18	0,0032 14	0,6277 15	0,8784 78	0,0969 86
16	0,7375 39	0,5818 19	0,4731 34	0,7215 88	0,7657 48	0,1783 49	0,6351 34	0,3403 72	0,1684 65	0,3040 91	0,9192 49	0,0339 54	0,2808 07	0,1745 83	0,3741 37	0,8831 79	0,3309 46
17	0,2194 93	0,2136 85	0,7304 43	0,1489 31	0,5333 92	0,3754 99	0,1948 44	0,0552 87	0,7438 16	0,0472 78	0,3586 10	0,6351 68	0,4293 67	0,4492 81	0,9925 48	0,1726 06	0,4027 07
18	0,2545 65	0,7538 31	0,6135 69	0,4450 32	0,3107 12	0,0900 87	0,0184 05	0,7460 18	0,5359 40	0,2244 50	0,1578 72	0,3117 43	0,5841 50	0,1255 87	0,5244 53	0,4131 70	0,3814 83
19	0,9929 81	0,4437 03	0,4770 92	0,9187 88	0,8791 14	0,1710 03	0,3626 05	0,1155 95	0,2996 90	0,5446 64	0,8096 79	0,7066 58	0,7397 75	0,6417 49	0,7481 18	0,1117 86	0,7850 48
20	0,2887 78	0,0054 97	0,1269 14	0,9443 17	0,5833 22	0,9902 97	0,9317 35	0,0854 25	0,7340 65	0,8670 44	0,2486 14	0,7235 26	0,1441 53	0,2246 79	0,9195 93	0,0215 65	0,8650 39
21	0,6954 00	0,8725 09	0,0922 45	0,7032 43	0,5586 93	0,1279 53	0,9051 80	0,2974 37	0,7430 89	0,8137 84	0,5753 96	0,4223 41	0,9228 99	0,0299 38	0,2837 07	0,6126 57	0,7264 39

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,3813 47	0,4916 33	0,0878 24	0,9303 95	0,8114 20	0,9522 39	0,1966 15	0,5936 84	0,1278 72	0,2383 05	0,0433 25	0,2860 11	0,7163 50	0,0554 78	0,3094 08	0,9977 13	0,4862 05
23	0,1959 84	0,6297 58	0,2181 54	0,1298 46	0,8662 39	0,8831 57	0,7434 01	0,9831 96	0,0525 28	0,9099 89	0,8637 45	0,3826 85	0,2871 11	0,6218 04	0,5795 90	0,0400 29	0,9501 06
24	0,2961 69	0,1247 53	0,2753 10	0,4876 92	0,7970 06	0,3876 32	0,6234 61	0,8762 87	0,2128 70	0,0036 86	0,7296 88	0,6445 08	0,0633 65	0,1802 21	0,9355 12	0,7466 87	0,9952 27
25	0,5879 95	0,0636 10	0,1508 82	0,1332 71	0,2415 68	0,1144 30	0,1907 09	0,8521 79	0,1793 38	0,5008 60	0,0922 16	0,5521 99	0,8655 60	0,8892 86	0,0714 92	0,8406 78	0,3246 04
26	0,0256 28	0,0225 28	0,8224 90	0,6370 74	0,2794 06	0,4683 38	0,0225 22	0,1320 55	0,1126 45	0,0845 41	0,5350 64	0,9051 74	0,0008 99	0,9578 53	0,3269 65	0,0124 54	0,7625 12
27	0,5966 46	0,9614 26	0,0598 84	0,8515 90	0,3115 61	0,5605 21	0,4978 39	0,8868 71	0,0076 36	0,1919 32	0,6180 38	0,6585 57	0,9293 41	0,4395 50	0,7122 02	0,4913 27	0,5562 76
28	0,5440 22	0,6914 11	0,4640 30	0,6547 44	0,6919 29	0,6752 58	0,9789 10	0,3714 24	0,0826 72	0,0164 39	0,5074 65	0,5020 77	0,1179 96	0,2770 17	0,5731 53	0,1159 35	0,7754 66
29	0,7189 38	0,5888 38	0,6417 48	0,5649 37	0,8349 62	0,0620 17	0,0363 14	0,7847 51	0,1321 96	0,6349 55	0,4929 68	0,8276 48	0,2354 81	0,7335 76	0,0656 71	0,5035 48	0,6909 50
30	0,0105 90	0,5888 33	0,5612 42	0,8813 31	0,7246 60	0,2779 65	0,2181 07	0,2729 64	0,4972 86	0,8690 66	0,6703 55	0,7847 58	0,7710 98	0,2828 32	0,5368 82	0,3616 61	0,7148 62

4.3.9.2 *Mengurutkan Urutan Pekerjaan Serta Menghitung Makespan dan Waiting Time*  
Langkah ini adalah mengurutkan *job sequence* berdasarkan bilangan *random* dari langkah sebelumnya tiap partikel dari nilai terbesar hingga terkecil.

Tabel 4. 17 *Job Sequence* Iterasi 1

<i>Job Sequence</i> Tiap Partikel	
1	J4 – J10 – J14 – J9 – J3 – J16 – J7 – J6 – J12 – J17 – J13 – J5 – J2 – J1 – J11 – J8 – J15
2	J1 – J15 – J6 – J4 – J11 – J9 – J16 – J3 – J8 – J5 – J13 – J17 – J14 – J7 – J2 – J12 – J10
3	J8 – J7 – J15 – J17 – J12 – J9 – J16 – J10 – J2 – J4 – J11 – J14 – J6 – J13 – J3 – J1 – J5
4	J1 – J3 – J5 – J10 – J9 – J11 – J7 – J4 – J16 – J13 – J17 – J2 – J6 – J12 – J14 – J15 – J8
5	J5 – J16 – J4 – J2 – J6 – J3 – J8 – J1 – J9 – J7 – J14 – J12 – J15 – J13 – J11 – J17 – J10
6	J14 – J15 – J7 – J17 – J10 – J1 – J5 – J8 – J16 – J9 – J12 – J2 – J4 – J11 – J13 – J3 – J6
7	J13 – J11 – J5 – J2 – J3 – J17 – J10 – J4 – J16 – J14 – J6 – J9 – J8 – J12 – J15 – J1 – J7
8	J17 – J3 – J14 – J12 – J7 – J2 – J4 – J5 – J1 – J6 – J15 – J8 – J16 – J9 – J10 – J13 – J11
9	J10 – J4 – J9 – J7 – J11 – J12 – J17 – J3 – J1 – J6 – J14 – J16 – J5 – J8 – J15 – J13 – J2
10	J15 – J10 – J6 – J14 – J8 – J13 – J1 – J4 – J3 – J17 – J12 – J7 – J9 – J2 – J16 – J5 – J11
11	J16 – J5 – J7 – J17 – J6 – J12 – J14 – J3 – J9 – J4 – J1 – J13 – J8 – J15 – J2 – J10 – J11
12	J17 – J12 – J10 – J5 – J1 – J2 – J9 – J3 – J4 – J8 – J14 – J16 – J6 – J13 – J11 – J7 – J15
13	J7 – J2 – J13 – J15 – J6 – J11 – J1 – J8 – J17 – J14 – J10 – J5 – J4 – J9 – J12 – J16 – J3
14	J15 – J10 – J16 – J9 – J13 – J2 – J12 – J7 – J8 – J4 – J5 – J11 – J17 – J14 – J1 – J6 – J3
15	J14 – J17 – J1 – J9 – J8 – J3 – J6 – J2 – J11 – J15 – J13 – J4 – J12 – J5 – J10 – J7 – J16
16	J12 – J9 – J14 – J6 – J13 – J10 – J17 – J8 – J15 – J3 – J2 – J7 – J4 – J1 – J5 – J16 – J11

---

*Job Sequence* Tiap Partikel
 

---

17	J10 – J8 – J4 – J16 – J7 – J2 – J1 – J11 – J6 – J17 – J13 – J14 – J5 – J12 – J3 – J9 – J15
18	J7 – J6 – J14 – J11 – J10 – J1 – J5 – J12 – J17 – J16 – J4 – J15 – J9 – J13 – J3 – J8 – J2
19	J16 – J8 – J6 – J9 – J7 – J2 – J3 – J10 – J14 – J12 – J13 – J15 – J17 – J11 – J5 – J4 – J1
20	J2 – J16 – J8 – J3 – J13 – J14 – J11 – J1 – J5 – J12 – J9 – J17 – J10 – J15 – J7 – J4 – J6
21	J14 – J3 – J6 – J15 – J8 – J12 – J5 – J11 – J16 – J1 – J4 – J17 – J9 – J10 – J2 – J7 – J13
22	J11 – J14 – J3 – J9 – J7 – J10 – J12 – J15 – J1 – J17 – J2 – J8 – J13 – J5 – J4 – J6 – J16
23	J16 – J9 – J4 – J1 – J3 – J13 – J12 – J15 – J14 – J2 – J7 – J11 – J5 – J6 – J10 – J17 – J8
24	J10 – J13 – J2 – J14 – J9 – J3 – J1 – J6 – J4 – J7 – J12 – J11 – J16 – J5 – J8 – J15 – J17
25	J2 – J15 – J11 – J6 – J4 – J3 – J9 – J7 – J5 – J17 – J10 – J12 – J1 – J16 – J8 – J13 – J14
26	J13 – J16 – J7 – J2 – J1 – J10 – J9 – J8 – J5 – J15 – J6 – J11 – J4 – J17 – J3 – J12 – J14
27	J9 – J3 – J10 – J5 – J14 – J16 – J7 – J17 – J6 – J1 – J11 – J12 – J15 – J4 – J8 – J13 – J2
28	J10 – J9 – J16 – J13 – J14 – J8 – J3 – J12 – J11 – J1 – J15 – J4 – J6 – J2 – J5 – J17 – J7
29	J6 – J1 – J10 – J8 – J3 – J15 – J7 – J9 – J11 – J2 – J16 – J17 – J4 – J14 – J13 – J5 – J12
30	J1 – J7 – J8 – J6 – J14 – J16 – J9 – J15 – J3 – J2 – J11 – J17 – J5 – J13 – J12 – J10 – J4

---

Selanjutnya adalah menghitung nilai *makespan* dan *waiting time* berdasarkan *job sequence* tiap partikel yang telah diurutkan.

Tabel 4. 18 Nilai *Makespan* Partikel 1 Iterasi 1

Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Duraton	Completion	Start	Duraton	Completion	Start	Duraton	Completion	Start	Duraton	Completion	Start	Duraton	Completion	Start	Duraton	Completion	
4	0	90,20	90,20	90,20	81,43	171,63	171,63	2282,08	2453,71	2453,71	1573,88	4027,60	4027,60	142,55	4170,14	4170,14	248,02	4418,16	0,00
10	90,20	194,14	284,34	284,34	149,44	433,78	2453,71	427,29	2881,00	4027,60	560,19	4587,79	4587,79	357,636	8164,15	8164,15	237,15	8401,30	3166,52
14	284,34	240,94	525,28	525,28	180,44	705,72	2881,00	4347,38	7228,39	7228,39	1880,38	9108,77	9108,77	364,75	9473,53	9473,53	385,94	9859,46	2175,29
9	525,28	196,74	722,02	722,02	148,52	870,54	7228,39	431,21	7659,60	9108,77	561,37	9670,14	9670,14	380,912	13479,27	13479,27	237,15	13716,42	7807,02
3	722,02	197,82	919,85	919,85	149,32	1069,17	7659,60	430,24	8089,84	9670,14	584,11	10254,25	13479,27	391,070	17389,97	17389,97	237,15	17627,12	11395,75
16	919,85	241,56	1161,41	1161,41	183,71	1345,11	8089,84	435,161	12441,45	12441,45	1811,75	14253,20	17389,97	367,49	17757,46	17757,46	362,58	18120,04	9881,50
7	1161,41	135,17	1296,58	1345,11	122,61	1467,73	12441,45	3424,42	15865,86	15865,86	2360,26	18226,13	18226,13	213,85	18439,97	18439,97	373,02	18813,00	11022,25
6	1296,58	456,66	1753,24	1753,24	293,095	4684,19	15865,86	464,22	16330,09	18226,13	906,20	19132,33	19132,33	119,37	19251,70	19251,70	163,12	19414,82	13077,72
12	1753,24	195,39	1948,63	4684,19	148,27	4832,45	16330,09	448,22	16778,31	19132,33	693,77	19826,10	19826,10	355,393	23380,03	23380,03	237,15	23617,18	16587,21

Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	
17	194	455,0	2403,7	4832	2911,	7743,8	1677	462,4	17240,	1982	896,7	20722,	2338	215,3	23595,	2361	163,1	23780,	16727,43
	8,63	9	2	,45	42	7	8,31	7	78	6,10	7	87	0,03	6	39	7,18	4	32	
13	240	196,9	2600,7	7743	149,8	7893,7	1724	428,5	17669,	2072	574,3	21297,	2359	4005,	27600,	2760	237,1	27837,	19841,97
	3,72	7	0	,87	8	5	0,78	0	28	2,87	5	22	5,39	38	77	0,77	5	92	
5	260	241,8	2842,5	7893	215,6	8109,4	1766	4335,	22004,	2200	1839,	23844,	2760	368,2	27968,	2796	378,5	28347,	18367,73
	0,70	2	2	,75	6	0	9,28	04	32	4,32	83	15	0,77	2	99	8,99	9	58	
2	284	90,45	2932,9	8109	81,46	8190,8	2200	2282,	24286,	2428	1573,	25860,	2796	142,3	28111,	2834	248,5	28596,	21334,84
	2,52		7	,40		7	4,32	55	87	6,87	46	33	8,99	0	29	7,58	0	08	
1	293	135,6	3068,5	8190	121,9	8312,8	2428	3510,	27797,	2779	2360,	30157,	3015	213,3	30371,	3037	372,9	30744,	21096,33
	2,97	2	9	,87	6	2	6,87	18	05	7,05	75	80	7,80	8	17	1,17	2	10	
11	306	456,7	3525,3	8312	2905,	11218,	2779	463,5	28260,	3015	895,5	31053,	3105	134,6	31187,	3118	163,3	31351,	23263,69
	8,59	8	6	,82	23	05	7,05	2	57	7,80	1	31	3,31	1	91	7,91	4	25	
8	352	240,7	3766,1	1121	180,6	11398,	2826	4335,	32595,	3259	1794,	34389,	3438	1089,	35479,	3547	387,1	35866,	24313,88
	5,36	4	0	8,05	0	65	0,57	04	61	5,61	38	99	9,99	00	00	9,00	2	12	
15	376	196,8	3962,9	1139	148,8	11547,	3259	432,3	33027,	3438	580,2	34970,	3547	3788,	39267,	3926	237,1	39504,	30354,66
	6,10	0	0	8,65	8	52	5,61	5	96	9,99	2	21	9,00	21	21	7,21	5	37	

Urutan job J4 – J10 – J14 – J9 – J3 – J16 – J7 – J6 – J12 – J17 – J13 – J5 – J2 – J1 – J11 – J8 – J15 pada partikel 1 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 39504,37 detik atau 10,97 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 250413,78 atau 69,56 jam.

Tabel 4. 19 Nilai *Makespan* Partikel 2 Iterasi 1

Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting
Job	Start	Duraton	Comple tion	Start	Duraton	Comple tion	Start	Duraton	Comple tion	Start	Duraton	Comple tion	Start	Duraton	Comple tion	Start	Duraton	Comple tion	Time
1	0	135,62	135,62	135,62	121,96	257,57	257,57	3510,18	3767,75	3767,75	2360,75	6128,50	6128,50	213,38	6341,88	6341,88	372,92	6714,80	0,00
15	135,62	196,80	332,42	332,42	148,88	481,30	3767,75	432,35	4200,10	6128,50	580,22	6708,71	6708,71	3788,21	10496,93	10496,93	237,15	10734,08	5214,86
6	332,42	456,66	789,08	789,08	2930,95	3720,03	4200,10	464,22	4664,32	6708,91	906,20	7614,91	10496,93	119,37	10616,30	10734,08	163,12	10897,20	5524,26
4	789,08	90,20	879,27	3720,03	81,43	3801,46	4664,32	2282,08	6946,40	7614,91	1573,88	9188,80	10616,30	142,55	10758,85	10897,20	248,02	11145,22	5937,98
11	879,27	456,78	1336,05	3801,46	2905,23	6706,69	6946,40	463,52	7409,92	9188,80	895,51	10084,31	10758,85	134,61	10893,45	11145,22	163,34	11308,56	5410,31
9	1336,05	196,74	1532,79	6706,69	148,52	6855,21	7409,92	431,21	7841,13	10084,31	561,37	10645,68	10897,20	3809,12	14702,58	14702,58	237,15	14939,73	8219,56
16	1532,79	241,56	1774,36	6855,21	183,71	7038,91	7841,13	4351,61	12192,74	12192,74	1811,75	14004,49	14702,58	367,49	15070,07	15070,07	362,58	15432,65	6581,16
3	1774,36	197,82	1972,18	7038,91	149,32	7188,23	12192,74	430,24	12622,98	14004,49	584,11	14588,60	15070,07	3910,70	18980,77	18980,77	237,15	19217,92	11934,22
8	1972,18	240,74	2212,92	7188,91	180,60	7368,83	12622,98	4335,04	16958,02	16958,02	1794,38	18752,40	18980,77	1089,00	20069,77	20069,77	387,12	20456,89	10457,83



Partikel 1	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
Job	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	Start	Durasi	Completion	
5	221,92	241,82	2454,74	7368,83	215,66	7584,49	1695,04	4335,06	21293,06	2129,06	1839,83	23132,88	2313,88	368,22	23501,10	2350,10	378,59	23879,70	14287,63
13	245,47	196,97	2651,71	7584,49	149,88	7734,36	2129,06	428,50	21721,56	2313,88	574,35	23707,24	2370,24	4005,38	27712,62	2771,62	237,15	27949,77	19902,80
17	265,71	455,09	3106,80	7734,36	2911,42	10645,78	2172,56	462,47	22184,03	2370,24	896,77	24604,00	2771,62	215,36	27927,98	2794,97	163,14	28112,91	20356,94
14	310,80	240,94	3347,74	1064,57	180,44	10826,22	2218,03	4347,38	26531,41	2653,41	1880,38	28411,80	2841,80	364,75	28776,55	2877,55	385,94	29162,49	18655,85
7	334,74	135,17	3482,91	1082,22	122,61	10948,83	2653,41	3424,42	29955,83	2995,83	2360,26	32316,09	3231,09	213,85	32529,94	3252,94	373,02	32902,96	22925,89
2	348,91	90,45	3573,36	1094,83	81,46	11030,29	2995,83	2282,55	32238,38	3231,60	1573,46	33889,55	3388,55	142,30	34031,85	3403,85	248,50	34280,35	26378,72
12	357,36	195,39	3768,76	1103,29	148,27	11178,56	3223,83	448,22	32686,60	3388,95	693,77	34583,32	3458,32	3553,93	38137,25	3813,25	237,15	38374,41	29524,31
10	376,76	194,14	3962,90	1117,56	149,44	11328,00	3268,83	427,29	33113,90	3458,90	560,19	35143,51	3813,25	3576,36	41713,62	4171,62	237,15	41950,77	33037,43

Urutan job J1 – J15 – J6 – J4 – J11 – J9 – J16 – J3 – J8 – J5 – J13 – J17 – J14 – J7 – J2 – J12 – 10 pada partikel 2 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 41950,77 detik atau 11,65 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 244349,75 atau 67,87 jam



Tabel 4. 20 Nilai *Makespan* dan Total *Waiting Time Particle* Iterasi 1

	<i>Job Sequence</i> Tiap Swarm <i>Particle</i> (i)	Nilai <i>Makespan</i> ( <i>secomd</i> )	Total <i>Waiting</i> <i>Time</i> ( <i>second</i> )
1	J4 – J10 – J14 – J9 – J3 – J16 – J7 – J6 – J12 – J17 – J13 – J5 – J2 – J1 – J11 – J8 – J15	39504,37	250413,78
2	J1 – J15 – J6 – J4 – J11 – J9 – J16 – J3 – J8 – J5 – J13 – J17 – J14 – J7 – J2 – J12 – J10	41950,77	244349,75
3	J8 – J7 – J15 – J17 – J12 – J9 – J16 – J10 – J2 – J4 – J11 – J14 – J6 – J13 – J3 – J1 – J5	36375,17	286619,77
4	J1 – J3 – J5 – J10 – J9 – J11 – J7 – J4 – J16 – J13 – J17 – J2 – J6 – J12 – J14 – J15 – J8	36384,40	252397,69
5	J5 – J16 – J4 – J2 – J6 – J3 – J8 – J1 – J9 – J7 – J14 – J12 – J15 – J13 – J11 – J17 – J10	48736,61	358427,75
6	J14 – J15 – J7 – J17 – J10 – J1 – J5 – J8 – J16 – J9 – J12 – J2 – J4 – J11 – J13 – J3 – J6	44519,13	326165,53
7	J13 – J11 – J5 – J2 – J3 – J17 – J10 – J4 – J16 – J14 – J6 – J9 – J8 – J12 – J15 – J1 – J7	39512,49	264055,94
8	J17 – J3 – J14 – J12 – J7 – J2 – J4 – J5 – J1 – J6 – J15 – J8 – J16 – J9 – J10 – J13 – J11	48636,79	328071,35
9	J10 – J4 – J9 – J7 – J11 – J12 – J17 – J3 – J1 – J6 – J14 – J16 – J5 – J8 – J15 – J13 – J2	41219,15	219293,77
10	J15 – J10 – J6 – J14 – J8 – J13 – J1 – J4 – J3 – J17 – J12 – J7 – J9 – J2 – J16 – J5 – J11	38345,00	268870,20
11	J16 – J5 – J7 – J17 – J6 – J12 – J14 – J3 – J9 – J4 – J1 – J13 – J8 – J15 – J2 – J10 – J11	42389,52	322239,41
12	J17 – J12 – J10 – J5 – J1 – J2 – J9 – J3 – J4 – J8 – J14 – J16 – J6 – J13 – J11 – J7 – J15	42756,34	295708,41
13	J7 – J2 – J13 – J15 – J6 – J11 – J1 – J8 – J17 – J14 – J10 – J5 – J4 – J9 – J12 – J16 – J3	41466,48	255982,78
14	J15 – J10 – J16 – J9 – J13 – J2 – J12 – J7 – J8 – J4 – J5 – J11 – J17 – J14 – J1 – J6 – J3	40306,45	253541,08
15	J14 – J17 – J1 – J9 – J8 – J3 – J6 – J2 – J11 – J15 – J13 – J4 – J12 – J5 – J10 – J7 – J16	37276,05	268992,82
16	J12 – J9 – J14 – J6 – J13 – J10 – J17 – J8 – J15 – J3 – J2 – J7 – J4 – J1 – J5 – J16 – J11	36082,58	227353,64

	<i>Job Sequence</i> Tiap Swarm <i>Particle (i)</i>	Nilai <i>Makespan</i> ( <i>secomd</i> )	Total <i>Waiting</i> <i>Time</i> ( <i>second</i> )
17	J10 – J8 – J4 – J16 – J7 – J2 – J1 – J11 – J6 – J17 – J13 – J14 – J5 – J12 – J3 – J9 – J15	49290,60	315122,14
18	J7 – J6 – J14 – J11 – J10 – J1 – J5 – J12 – J17 – J16 – J4 – J15 – J9 – J13 – J3 – J8 – J2	44166,37	287368,69
19	J16 – J8 – J6 – J9 – J7 – J2 – J3 – J10 – J14 – J12 – J13 – J15 – J17 – J11 – J5 – J4 – J1	38866,67	316864,22
20	J2 – J16 – J8 – J3 – J13 – J14 – J11 – J1 – J5 – J12 – J9 – J17 – J10 – J15 – J7 – J4 – J6	43153,88	345086,01
21	J14 – J3 – J6 – J15 – J8 – J12 – J5 – J11 – J16 – J1 – J4 – J17 – J9 – J10 – J2 – J7 – J13	40916,11	278732,35
22	J11 – J14 – J3 – J9 – J7 – J10 – J12 – J15 – J1 – J17 – J2 – J8 – J13 – J5 – J4 – J6 – J16	38760,15	319487,38
23	J16 – J9 – J4 – J1 – J3 – J13 – J12 – J15 – J14 – J2 – J7 – J11 – J5 – J6 – J10 – J17 – J8	36552,10	302496,71
24	J10 – J13 – J2 – J14 – J9 – J3 – J1 – J6 – J4 – J7 – J12 – J11 – J16 – J5 – J8 – J15 – J17	39376,97	238175,08
25	J2 – J15 – J11 – J6 – J4 – J3 – J9 – J7 – J5 – J17 – J10 – J12 – J1 – J16 – J8 – J13 – J14	39121,69	231269,72
26	J13 – J16 – J7 – J2 – J1 – J10 – J9 – J8 – J5 – J15 – J6 – J11 – J4 – J17 – J3 – J12 – J14	39364,51	292275,91
27	J9 – J3 – J10 – J5 – J14 – J16 – J7 – J17 – J6 – J1 – J11 – J12 – J15 – J4 – J8 – J13 – J2	39544,08	268899,52
28	J10 – J9 – J16 – J13 – J14 – J8 – J3 – J12 – J11 – J1 – J15 – J4 – J6 – J2 – J5 – J17 – J7	36147,04	255820,97
29	J6 – J1 – J10 – J8 – J3 – J15 – J7 – J9 – J11 – J2 – J16 – J17 – J4 – J14 – J13 – J5 – J12	42120,39	295581,70
30	J1 – J7 – J8 – J6 – J14 – J16 – J9 – J15 – J3 – J2 – J11 – J17 – J5 – J13 – J12 – J10 – J4	47052,92	367938,13

Perhitungan *makespan* dan *waiting time* untuk partikel 3-18 dapat dilihat pada lampiran (A-15 – A-28).

#### 4.3.9.3 Menghitung Posisi Partikel (Z)

Langkah ini menghitung posisi partikel  $i$  pada iterasi 1 untuk mengetahui posisi partikel awal dalam mencari ruang solusi. Berikut nilai Z iterasi 1

Tabel 4. 21 Nilai Z Iterasi 1

<b>Partikel</b>	<b>Nilai Makespan</b>	<b>Total Waiting Time</b>	<b>Z</b>
1	39504,37	250413,78	144959,07
2	41950,77	244349,75	143150,26
3	36375,17	286619,77	161497,47
4	36384,40	252397,69	144391,04
5	48736,61	358427,75	203582,18
6	44519,13	326165,53	185342,33
7	39512,49	264055,94	151784,21
8	48636,79	328071,35	188354,07
9	41219,15	219293,77	130256,46
10	38345,00	268870,20	153607,60
11	42389,52	322239,41	182314,46
12	42756,34	295708,41	169232,38
13	41466,48	255982,78	148724,63
14	40306,45	253541,08	146923,77
15	37276,05	268992,82	153134,44
16	36082,58	227353,64	131718,11
17	49290,60	315122,14	182206,37
18	44166,37	287368,69	165767,53
19	38866,67	316864,22	177865,44
20	43153,88	345086,01	194119,94
21	40916,11	278732,35	159824,23
22	38760,15	319487,38	179123,76
23	36552,10	302496,71	169524,40
24	39376,97	238175,08	138776,03
25	39121,69	231269,72	135195,70
26	39364,51	292275,91	165820,21
27	39544,08	268899,52	154221,80
28	36147,04	255820,97	145984,00

<b>Partikel</b>	<b>Nilai Makespan</b>	<b>Total Waiting Time</b>	<b>Z</b>
29	42120,39	295581,70	168851,04
30	47052,92	367938,13	207495,52

#### 4.3.9.4 Menghitung Nilai Fitness

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *fitness* partikel *i* pada iterasi 1 untuk dijadikan acuan dalam menentukan nilai terbaik *pbest* dan *gbest*. Berikut merupakan nilai *fitness* partikel *i* pada iterasi 1

Tabel 4. 22 Nilai *Fitness* Iterasi 1

<b>Partikel</b>	<b>Z</b>	<b>Fitness</b>
1	144959,07	355040,93
2	143150,26	356849,74
3	161497,47	338502,53
4	144391,04	355608,96
5	203582,18	296417,82
6	185342,33	314657,67
7	151784,21	348215,79
8	188354,07	311645,93
9	130256,46	369743,54
10	153607,60	346392,40
11	182314,46	317685,54
12	169232,38	330767,62
13	148724,63	351275,37
14	146923,77	353076,23
15	153134,44	346865,56
16	131718,11	368281,89
17	182206,37	317793,63
18	165767,53	334232,47
19	177865,44	322134,56
20	194119,94	305880,06
21	159824,23	340175,77
22	179123,76	320876,24
23	169524,40	330475,60
24	138776,03	361223,97

Partikel	Z	Fitness
25	135195,70	364804,30
26	165820,21	334179,79
27	154221,80	345778,20
28	145984,00	354016,00
29	168851,04	331148,96
30	207495,52	292504,48

#### 4.3.9.5 Menentukan Personal Best dan Global Best Terbaru

Langkah selanjutnya adalah menentukan *Personal Best* ( $Pbest$ ) dan *Global Best* ( $Gbest$ ) dari perbandingan iterasi sebelumnya ( $t=0$ ) dan iterasi saat ini ( $t=1$ ). Perbandingan ini untuk melihat dan menentukan nilai terbaik atau nilai minimum *makespan* dan *waiting time*. Nilai yang dipilih merupakan nilai terbesar karena nilai tersebut merupakan nilai terbaik minimum *makespan* dan *waiting time*. Berikut tabel perbandingan  $Pbest$  dan  $Gbest$  suatu partikel  $i$  dalam *swarm* pada iterasi ( $t=0$ ) dan ( $t=1$ ).

Tabel 4. 23  $Pbest$  dan  $Gbest$  Terbaru

Partikel	Fitness ( $t=0$ )	Fitness ( $t=1$ )	Personal Best	Personal Best ( $Pb_i^t$ )	Global Best	Global Best ( $Gb_i^t$ )
1	345206,9635	355040,927	355040,927	$Pb_1^1$		
2	342141,3019	356849,741	356849,741	$Pb_2^1$		
3	324090,1796	338502,529	338502,529	$Pb_3^0$		
4	361249,2233	355608,955	361249,2233	$Pb_4^0$		
5	317376,7172	296417,821	317376,7172	$Pb_5^0$		
6	331762,4007	314657,675	331762,4007	$Pb_6^0$		
7	334339,4416	348215,785	348215,785	$Pb_7^1$		
8	298560,2929	311645,929	311645,929	$Pb_8^1$		
9	320870,0801	369743,54	369743,54	$Pb_9^1$	369743,54	$Pb_9^1$
10	274052,7516	346392,399	346392,399	$Pb_{10}^1$		
11	323467,63	317685,54	323467,63	$Pb_{11}^0$		
12	308884,38	330767,62	330767,62	$Pb_{12}^1$		
13	297862,20	351275,37	351275,37	$Pb_{13}^1$		
14	344028,73	353076,23	353076,23	$Pb_{10}^1$		
15	328718,05	346865,56	346865,56	$Pb_{15}^1$		
16	355040,93	368281,89	368281,89	$Pb_{16}^1$		

<b>Partikel</b>	<b><i>Fitness</i> (t=0)</b>	<b><i>Fitness</i> (t=1)</b>	<b><i>Personal Best</i></b>	<b><i>Personal Best</i> (<math>Pb_i^t</math>)</b>	<b><i>Global Best</i></b>	<b><i>Global Best</i> (<math>Gb_i^t</math>)</b>
17	363819,68	317793,63	363819,68	$Pb_{17}^0$		
18	366626,35	334232,47	366626,35	$Pb_{18}^0$		
19	334330,80	322134,56	334330,8	$Pb_{19}^0$		
20	321094,46	305880,06	321094,46	$Pb_{20}^0$		
21	322418,55	340175,77	340175,77	$Pb_{21}^1$		
22	352719,19	320876,24	352719,19	$Pb_{22}^0$		
23	364461,63	330475,60	364461,63	$Pb_{23}^0$		
24	358831,03	361223,97	361223,97	$Pb_{24}^1$		
25	320540,48	364804,30	364804,3	$Pb_{25}^1$		
26	351817,15	334179,79	351817,15	$Pb_{26}^0$		
27	339521,60	345778,20	345778,2	$Pb_{27}^1$		
28	306940,34	354016,00	354016	$Pb_{28}^1$		
29	351538,60	331148,96	351538,6	$Pb_{29}^0$		
30	349980,92	292504,48	349980,92	$Pb_{30}^0$		

Nilai *Gbest* pada pada iterasi 1 (t=1) adalah 369743,54 yang mana nilai tersebut merupakan perbaruan nilai *gbest* dari iterasi sebelumnya karena terjadinya peningkatan nilai *Gbest*, nilai *gbest* tersebut ditunjukkan pada partikel 9 dengan usulan urutan *job sequence* J10 – J4 – J9 – J7 – J11 – J12 – J17 – J3 – J1 – J6 – J14 – J16 – J5 – J8 – J15 – J13 – J2 dengan nilai *makespan* sebesar 41219,15 detik atau 11,45 jam dan nilai total *waiting time* sebesar 219293,77 detik atau 60,91 jam dengan rata-rata *waiting time* mesin adalah 3,58 jam..



#### 4.3.9.6 Update Nilai Velocity

Langkah selanjutnya adalah memperbarui nilai *velocity* untuk partikel *i* setiap *job j* dalam iterasi 1 terhadap *pbest* dan *gbest* terbaru. Menggunakan rumus yang sama seperti iterasi sebelumnya ( $t=0$ ),

Dimana:

$w = 0,5$ ,  $v_0$  = merupakan nilai *velocity* iterasi ( $t=0$ )

$C_1 = 2$ ,  $C_2 = 2$ ,

$P_{0,0} = Pbest$  (perbaruan nilai *pbest*),  $G_{0,0} = Pbest$  (perbaruan nilai *gbest*)

$X_{0,0} = Posisi\ partikel$  (Bilangan random pada tabel 4.15), sebelum menghitung membangkitkan bilangan acak terlebih dahulu untuk  $r_1$  dan  $r_2$ . Berikut merupakan tabel perbaruan nilai kecepatan partikel *i* setiap *job j* dalam iterasi 1

Tabel 4. 24 Bilangan Random (R1) Iterasi 1

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,8125	0,1315	0,6417	0,9548	0,6060	0,7157	0,1606	0,6444	0,7976	0,6553	0,6053	0,2518	0,8660	0,1081	0,0137	0,4345	0,1908
	59	58	55	60	42	30	95	07	27	44	72	63	57	44	39	06	72
2	0,0703	0,0239	0,9584	0,0484	0,9256	0,7027	0,5685	0,3656	0,6534	0,1495	0,5629	0,8818	0,1005	0,4310	0,2154	0,4179	0,4420
	78	65	75	23	37	45	82	04	47	06	61	17	99	66	77	73	31
3	0,8228	0,8976	0,0399	0,6011	0,7462	0,0613	0,5534	0,2011	0,2655	0,7807	0,1281	0,5288	0,0898	0,7258	0,9119	0,4646	0,8429
	86	40	70	35	92	70	90	42	53	71	49	72	45	86	71	19	78
4	0,4894	0,7856	0,2433	0,6453	0,5263	0,9343	0,6514	0,2572	0,5398	0,5271	0,2620	0,4731	0,5970	0,2537	0,2555	0,9037	0,6341
	14	46	95	02	59	27	22	51	80	89	09	20	59	17	52	71	40
5	0,6845	0,5873	0,4004	0,5313	0,0137	0,3690	0,3041	0,5176	0,0083	0,3872	0,2311	0,3849	0,5269	0,3344	0,6939	0,4827	0,5890
	14	02	59	63	03	05	08	39	04	11	90	91	51	29	50	89	78
6	0,0352	0,6213	0,4656	0,7290	0,1028	0,0211	0,3836	0,8144	0,2829	0,7084	0,4811	0,5255	0,4188	0,9554	0,2262	0,4164	0,5278
	62	00	31	72	76	19	89	03	44	27	22	35	68	35	13	54	98
7	0,9468	0,5082	0,2606	0,2409	0,9864	0,6981	0,4178	0,8281	0,1604	0,1116	0,1619	0,6911	0,5291	0,3057	0,3726	0,9598	0,0056
	81	71	12	75	90	25	24	01	29	16	55	70	88	44	61	63	76
8	0,7765	0,8338	0,9682	0,4850	0,3194	0,8492	0,6465	0,0972	0,5156	0,3587	0,2057	0,1040	0,3860	0,4968	0,3285	0,5392	0,9239
	29	96	13	69	30	05	46	04	67	78	20	79	79	51	97	46	80
9	0,7640	0,6189	0,9543	0,4167	0,6949	0,6342	0,9282	0,7679	0,8454	0,4282	0,4872	0,2926	0,8000	0,4627	0,6423	0,2682	0,7793
	66	54	52	55	41	03	29	73	71	55	37	06	50	72	84	85	82
10	0,3812	0,5142	0,0964	0,2053	0,6324	0,7742	0,9128	0,4420	0,6031	0,9091	0,3557	0,1974	0,7623	0,0605	0,5637	0,0385	0,6729
	90	03	91	75	63	59	02	35	32	52	90	12	60	45	31	20	65

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,1047 58	0,3266 17	0,9741 08	0,8955 36	0,5845 10	0,7620 66	0,2340 27	0,1533 05	0,8633 91	0,5418 49	0,0209 12	0,9653 66	0,7139 19	0,4079 84	0,1599 68	0,2839 98	0,7185 57
12	0,4388 40	0,8911 21	0,4310 11	0,1580 95	0,6790 78	0,4024 42	0,7862 62	0,1166 20	0,0091 90	0,4280 81	0,6500 11	0,8009 45	0,7946 87	0,1828 41	0,7016 33	0,6889 44	0,5572 65
13	0,0746 18	0,3711 97	0,0060 22	0,2303 19	0,4191 78	0,7136 38	0,1703 25	0,6780 90	0,0244 52	0,1879 84	0,3001 15	0,1642 96	0,1434 92	0,6382 87	0,5545 78	0,4120 43	0,8135 62
14	0,0941 31	0,0924 16	0,2558 28	0,4464 34	0,0993 20	0,3777 20	0,2575 71	0,6499 57	0,5621 19	0,4614 32	0,7256 51	0,9245 12	0,8976 75	0,4187 82	0,3197 23	0,5970 81	0,2382 55
15	0,6144 39	0,9435 19	0,1157 49	0,0839 47	0,3066 44	0,4641 39	0,1332 34	0,2966 04	0,7946 60	0,8903 02	0,4481 40	0,5370 66	0,9038 31	0,0687 72	0,5468 59	0,4911 19	0,8274 52
16	0,4097 57	0,7367 97	0,7809 08	0,3036 31	0,0899 56	0,7134 77	0,3482 47	0,9080 03	0,5229 24	0,9763 17	0,4858 43	0,0687 33	0,4209 64	0,4896 66	0,6470 04	0,0400 03	0,2087 36
17	0,0758 62	0,9335 13	0,8304 27	0,9635 84	0,9929 19	0,7984 94	0,5120 50	0,6142 03	0,3735 68	0,6546 01	0,5894 75	0,7806 21	0,4298 62	0,4790 18	0,5814 05	0,2719 44	0,9626 81
18	0,6977 32	0,7019 57	0,2289 50	0,3578 68	0,4283 93	0,1294 64	0,5745 06	0,0296 73	0,7631 22	0,2535 24	0,5437 02	0,4956 53	0,4703 33	0,5746 30	0,2027 63	0,5962 23	0,6184 58
19	0,4240 61	0,2391 60	0,1633 55	0,7072 22	0,6593 08	0,7140 65	0,2760 95	0,8189 93	0,2819 56	0,4107 67	0,1474 65	0,7209 76	0,2269 66	0,1807 40	0,4584 59	0,4975 45	0,2483 27
20	0,0804 02	0,3066 64	0,8585 96	0,0161 47	0,1840 48	0,3043 10	0,2916 22	0,9195 74	0,6188 49	0,2619 51	0,0586 09	0,2243 37	0,2238 56	0,4743 26	0,5702 70	0,5633 45	0,5781 45
21	0,9852 24	0,0227 35	0,3161 00	0,9423 36	0,7882 48	0,8871 52	0,6886 77	0,5381 51	0,2856 03	0,0064 16	0,4047 95	0,6019 44	0,6801 47	0,0713 38	0,7872 33	0,7020 94	0,8636 05

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,5392 90	0,5448 22	0,5050 96	0,4613 16	0,8356 41	0,6627 51	0,0458 44	0,4209 73	0,5064 45	0,0353 70	0,5015 34	0,2273 92	0,8984 10	0,5564 59	0,1976 89	0,4935 67	0,5260 87
23	0,8156 38	0,0239 44	0,3615 28	0,4324 90	0,1847 33	0,7703 61	0,4307 79	0,2148 51	0,0549 80	0,2406 12	0,8673 58	0,6955 55	0,7239 31	0,9954 09	0,0043 80	0,7986 50	0,1535 72
24	0,2234 30	0,2972 93	0,5261 76	0,7559 54	0,1082 42	0,4406 60	0,7466 77	0,2615 85	0,5593 01	0,0357 61	0,8879 88	0,3697 85	0,3311 04	0,0005 75	0,6298 53	0,2582 99	0,2646 09
25	0,5007 22	0,0902 81	0,2115 42	0,4852 02	0,4403 42	0,6764 23	0,7632 71	0,0323 03	0,4340 54	0,5259 16	0,8455 07	0,2222 54	0,3926 32	0,6678 13	0,7112 85	0,0937 92	0,0749 50
26	0,2102 08	0,2632 30	0,9371 68	0,4133 70	0,1075 71	0,7753 80	0,6846 48	0,9599 09	0,1653 08	0,8221 20	0,0117 11	0,4755 18	0,4572 64	0,4558 19	0,0805 88	0,0398 65	0,2339 46
27	0,4606 42	0,2153 52	0,0151 73	0,0005 51	0,1036 44	0,9792 87	0,8807 66	0,3193 08	0,7464 63	0,6738 49	0,6483 15	0,1507 56	0,3116 54	0,9275 87	0,8835 02	0,2264 11	0,0781 31
28	0,0782 94	0,2124 02	0,5153 95	0,4105 05	0,4937 95	0,8329 82	0,8424 94	0,9184 39	0,9946 82	0,2801 96	0,0501 47	0,6236 35	0,2521 93	0,1513 63	0,5918 01	0,4348 03	0,0136 79
29	0,1868 09	0,1895 52	0,0506 71	0,7700 79	0,6426 17	0,0016 50	0,9739 32	0,3296 60	0,8830 36	0,6505 38	0,8866 92	0,0720 32	0,0014 24	0,5852 60	0,0941 43	0,4994 18	0,9063 38
30	0,1939 60	0,3470 87	0,9069 51	0,1064 59	0,0265 43	0,3015 17	0,0243 38	0,6805 00	0,8532 92	0,2975 95	0,7818 26	0,7721 35	0,4132 59	0,8600 83	0,7993 33	0,9645 98	0,3116 43

Tabel 4. 25 Bilangan Random (R2) Iterasi 1

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	0,8376	0,1947	0,3466	0,9802	0,7213	0,4876	0,7182	0,3471	0,4238	0,3952	0,8634	0,6718	0,3594	0,4564	0,0720	0,3903	0,5082
	01	01	20	58	26	93	61	53	13	02	55	86	65	19	28	05	45
2	0,3488	0,9193	0,5659	0,7388	0,6660	0,9894	0,7366	0,9970	0,4953	0,1249	0,3113	0,1288	0,2857	0,2374	0,9231	0,7564	0,9721
	69	87	47	22	97	90	07	43	93	83	92	10	35	94	47	69	68
3	0,2915	0,8021	0,4308	0,0434	0,0023	0,1292	0,8295	0,0403	0,8118	0,0092	0,8533	0,6354	0,9816	0,9278	0,4123	0,5443	0,0624
	97	22	29	41	58	93	05	64	49	94	37	17	08	02	46	23	29
4	0,7961	0,4207	0,5240	0,7804	0,0139	0,9832	0,7432	0,2452	0,3607	0,4603	0,5158	0,1062	0,1624	0,4486	0,8575	0,1315	0,6703
	88	76	26	05	90	52	84	76	38	12	85	03	97	88	86	35	93
5	0,3103	0,1430	0,9761	0,5575	0,9396	0,7298	0,6455	0,4603	0,4076	0,8100	0,0327	0,4047	0,0724	0,4004	0,4941	0,9839	0,4919
	94	79	57	11	32	31	69	64	38	91	89	09	71	80	03	13	13
6	0,4216	0,9406	0,5499	0,9663	0,5239	0,0709	0,6472	0,0813	0,8336	0,0965	0,3493	0,7493	0,1488	0,5840	0,0489	0,8767	0,1381
	19	84	95	01	34	09	99	01	81	79	75	64	76	88	34	39	20
7	0,6091	0,8820	0,4558	0,5117	0,2733	0,4718	0,1936	0,0608	0,5140	0,0648	0,8378	0,1700	0,3100	0,9826	0,2873	0,1951	0,8154
	85	86	94	06	76	34	37	33	29	27	62	38	95	84	54	56	59
8	0,8254	0,2484	0,7210	0,0653	0,8227	0,2370	0,4748	0,8840	0,7859	0,8553	0,3687	0,1659	0,0571	0,7178	0,6196	0,1587	0,9238
	77	93	70	85	69	34	75	76	73	34	21	61	95	69	28	34	16
9	0,9614	0,0561	0,1842	0,5927	0,9840	0,2637	0,0546	0,2460	0,0456	0,9782	0,9285	0,7025	0,0597	0,2820	0,1565	0,3249	0,9954
	33	90	83	59	53	85	55	40	28	81	77	32	18	15	55	58	09
10	0,4906	0,8224	0,6261	0,5558	0,2171	0,5758	0,3575	0,9157	0,7148	0,7563	0,8023	0,7624	0,4381	0,1177	0,0598	0,0152	0,7689
	47	44	78	51	96	59	71	66	51	11	10	00	54	89	77	43	46

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	0,8709 50	0,2357 95	0,8059 03	0,1985 74	0,8826 08	0,9551 45	0,1531 07	0,5658 33	0,7447 60	0,9598 21	0,5026 82	0,3090 52	0,5070 18	0,7854 23	0,7694 49	0,5081 43	0,5098 89
12	0,1053 99	0,9312 10	0,6049 46	0,1296 05	0,5979 65	0,9641 20	0,6657 58	0,1001 17	0,8567 32	0,2247 39	0,0309 64	0,6647 41	0,3806 87	0,5597 24	0,5140 70	0,2439 41	0,0743 47
13	0,8607 25	0,7034 49	0,2723 23	0,1507 65	0,1380 40	0,9919 66	0,1478 64	0,6061 50	0,1276 29	0,9713 35	0,5935 86	0,6024 17	0,4530 76	0,1728 07	0,2399 06	0,4071 24	0,8867 55
14	0,1634 46	0,7863 55	0,1252 59	0,2427 13	0,5884 26	0,1551 23	0,2357 02	0,9604 28	0,2905 80	0,8704 32	0,6628 61	0,0647 31	0,6836 31	0,5872 63	0,6757 77	0,4184 16	0,2804 98
15	0,1782 44	0,2966 31	0,4270 43	0,3619 09	0,1854 83	0,0332 21	0,6770 56	0,1816 03	0,4366 18	0,6205 81	0,0862 44	0,1471 90	0,5111 02	0,3261 68	0,4643 74	0,0146 58	0,4510 27
16	0,2132 87	0,0251 97	0,4999 91	0,7971 10	0,9994 76	0,1358 85	0,2228 31	0,5213 60	0,5530 41	0,6951 73	0,6138 79	0,9510 34	0,0167 95	0,6782 20	0,5025 21	0,9765 36	0,6277 00
17	0,2362 88	0,3908 41	0,5185 67	0,3683 04	0,6087 98	0,4061 85	0,6179 44	0,9510 35	0,3996 80	0,3019 40	0,5194 85	0,0823 20	0,4000 67	0,8246 54	0,8463 85	0,5494 32	0,0182 63
18	0,0120 72	0,5354 99	0,2330 58	0,9083 63	0,1260 32	0,9412 21	0,1213 87	0,4426 64	0,3982 31	0,8273 84	0,5498 26	0,4988 38	0,2200 13	0,6569 75	0,6479 45	0,9398 93	0,3678 60
19	0,3964 27	0,7521 15	0,0935 83	0,5860 53	0,8279 01	0,4847 31	0,6978 39	0,3742 27	0,3652 41	0,7948 94	0,8684 77	0,8571 32	0,8712 11	0,4072 87	0,8727 88	0,5870 16	0,1296 36
20	0,8430 60	0,1265 75	0,7037 40	0,0756 07	0,7537 69	0,5545 67	0,8965 75	0,6491 56	0,0198 72	0,8937 06	0,8182 69	0,4791 65	0,3874 76	0,0524 41	0,7539 48	0,4989 53	0,1196 90
21	0,9055 31	0,6915 55	0,6445 58	0,0063 20	0,1218 19	0,5428 09	0,4073 61	0,7433 04	0,6000 19	0,4978 84	0,6900 51	0,2334 51	0,8579 71	0,9284 89	0,0298 80	0,3631 48	0,0145 76

Parti kel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	0,5616	0,7211	0,0402	0,9210	0,8796	0,3383	0,2337	0,7639	0,4570	0,1798	0,6418	0,0592	0,4055	0,7754	0,2260	0,4553	0,8748
	33	77	78	78	01	71	50	54	45	59	98	59	59	98	89	13	09
23	0,7968	0,8674	0,0550	0,3745	0,2426	0,0923	0,6978	0,8473	0,8128	0,9965	0,9823	0,4572	0,3825	0,2128	0,1416	0,7975	0,4869
	27	85	98	22	34	31	21	51	78	24	27	12	77	39	41	18	85
24	0,6343	0,6737	0,9640	0,2877	0,9200	0,8910	0,5268	0,4705	0,8982	0,0513	0,2035	0,8538	0,3784	0,3924	0,9288	0,3413	0,0513
	88	77	91	11	89	80	51	19	33	43	99	29	13	55	53	43	60
25	0,7905	0,5328	0,2471	0,3998	0,6426	0,8535	0,0124	0,1752	0,1798	0,0530	0,8884	0,5474	0,2655	0,3997	0,7704	0,5389	0,6291
	16	47	92	71	09	16	72	29	76	00	98	49	64	38	48	67	81
26	0,9632	0,1470	0,4381	0,4977	0,1357	0,1950	0,6670	0,3216	0,0384	0,3414	0,9821	0,7012	0,7536	0,7238	0,9192	0,2157	0,9365
	30	86	33	47	86	15	14	62	02	00	63	32	95	59	15	50	54
27	0,6353	0,0983	0,9357	0,5119	0,3096	0,7059	0,4681	0,6500	0,5094	0,7821	0,6986	0,6109	0,0496	0,4846	0,1494	0,1833	0,3431
	96	05	91	50	32	20	38	38	63	33	43	18	67	48	83	67	55
28	0,2438	0,7959	0,3661	0,2710	0,6345	0,0516	0,3746	0,7170	0,2008	0,8662	0,2450	0,0436	0,6880	0,2496	0,6667	0,3240	0,4904
	61	52	26	60	44	92	35	21	43	44	82	74	04	33	78	07	11
29	0,5484	0,6565	0,4530	0,8340	0,2921	0,5930	0,2097	0,4554	0,1276	0,0162	0,4101	0,8592	0,1879	0,5029	0,9535	0,8333	0,5354
	98	14	41	26	20	94	72	28	88	83	23	01	73	38	37	52	26
30	0,8220	0,2375	0,4609	0,2764	0,7911	0,4957	0,1154	0,7747	0,5250	0,2741	0,0278	0,0626	0,7399	0,0488	0,9316	0,2351	0,7729
	51	07	18	59	41	84	20	26	77	72	26	09	15	04	53	82	90

Tabel 4. 26 *Update Velocity Iterasi 0*

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	77790	79751	70660	11974	68096	13653	48594	78714	55938	65141	26286	24970	80320	11083	96442	89303	90801
	4	1	3	35	2	55	6	4	0	5	0	2	1	47	2		3
2	57595	78904	80636	12952	55748	10278	63392	12703	28763	97486	94875	44860	68954	76749	75792	12260	12806
	1	8	2	35	6	87	3	75		4	2	6	0	3	9	40	49
3	77602	98985	81978	35281	48604	60450	85145	18912	35816	49368	65166	12035	12248	47619	51252	91289	63565
	3	7	7	9	2	9	6	0	5	2	5	10	77	9	8	8	2
4	65002	78196	59125	11826	27573	77947	76791	11250	10159	58791	98647	12123	11525	30406	77502	31417	30860
	1	6	0	10	6	0	6	98	75	8	8	71	76	5	4	0	2
5	86738	10287	99948	59613	91240	47455	63896	43077	87106	61429	71436	71952	10005	85389	10781	66859	46138
	2	35	3	3	6	3	4	3	3	6	2	7	89	0	65	2	4
6	71560	52736	10936	34122	62325	56164	84582	69625	50272	11813	35691	66050	60901	73836	89746	89721	46071
	3	7	96	5	9	5	7	6	1	94	2	5	9	5	4	4	0
7	77072	11443	32014	84666	83641	15620	50886	10431	54060	78557	78683	78013	22044	10187	62497	51192	10317
	8	78	0	4	7	7	6	35	1	2	7	7	4	21	0	1	65
8	69076	66450	77244	44228	22199	63235	97631	36083	13437	94309	37237	35826	66580	87361	79546	64207	41790
	1	4	0	0	3	4	8	8	1	8	9	6	0	9	5	5	2
9	80131	69959	86598	51256	68572	60108	85310	88642	89971	27540	94761	56813	96329	95891	59835	84480	59570
	2	0	2	3	1	4	9	9	4	4	1	3	6	7	0	5	3
10	88016	60632	64716	28277	52780	38268	75497	32622	29698	98719	65855	10950	12312	56430	95831	22387	64062
	9	5	9	6	5	1	8	6	5	0	2	40	6	2	4	7	8



Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	10614	62137	30593	10702	39588	43532	61159	53010	20990	45957	32061	12369	74137	99079	20477	71702	10038
	65	6	7	93	9	4	3	5	9	2	8	81	8	6	1	8	36
12	62337	59479	19378	37977	36588	79459	35661	43566	53506	92095	11308	58571	48441	84269	92319	75627	37970
	5	0	9	5	2	7	1	2	1	0	89	1	7	4	3	2	8
13	29184	10992	84971	33277	45439	61653	20961	10367	10619	86664	25388	79418	10478	81129	11895	46454	84869
	1	67	8	0	8	2	1	94	77	7	3	4	05	5	45	1	0
14	12929	95425	83330	73510	98786	61183	10214	32894	38145	90314	39738	50915	51983	74781	24768	69382	32225
	44	3	3	0	5	2	30	0	5	8	1	8	9	6	6	4	9
15	93529	86037	10090	11524	68547	39358	98826	56365	87201	10918	61574	10217	84201	98537	45968	30764	69591
	2	1	49	37	1	1	8	2	0	31	3	36	2	0	0	8	5
16	11005	25394	11715	33579	91517	54020	65837	50579	93204	38353	58901	45064	81388	72818	76629	70487	79422
	24	6	13	5	4	5	6	0	5	8	2	9	9	5	1	5	9
17	17444	44828	13631	75185	43865	77085	83441	90067	44733	13557	44587	78426	10442	85410	20922	10317	70066
	4	3	43	9	7	6	0	9	8	19	8	8	91	2	4	66	8
18	30888	10965	73540	13794	12016	86496	10223	96832	12950	62706	10919	36238	72261	99094	10902	95024	95206
	1	85	7	47	21	0	45	3	47	2	70	9	2	0	58	4	7
19	48169	91413	76966	53941	82741	46778	66760	82270	48872	57282	16984	62588	13043	74106	76236	81286	50319
	2	8	7	7	0	9	8	2	0	5	1	4	86	1	9	9	8
20	84236	11199	57808	85486	67623	79716	40058	32457	28168	11476	32887	37411	50148	18848	50332	10127	57208
	4	92	3	0	1	2	0	2	5	10	9	6	6	0	0	44	6
21	64423	95437	45356	82430	54700	78634	26178	73447	53864	69906	84601	87194	21066	24165	10109	41461	22769
	7	3	8	4	0	4	9	8	5	6	6	4	5	9	92	6	8

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	12332	96224	59452	96539	43719	52596	56950	67617	68534	61301	71687	15626	27172	88683	98338	11497	24870
	22	8	1	2	8	4	8	2	4	6	6	4	2	5	6	07	4
23	23708	52057	90265	65464	66471	63710	72901	47323	11033	85884	93926	41707	74353	10335	82919	72726	39828
	6	6	7	9	4	6	5	0	58	3	3	5	3	98	5	9	7
24	78675	50162	49497	97373	77490	74862	56561	79294	48865	31242	12934	84449	49001	52976	11659	94949	41776
	5	0	3	7	6	8	2	2	1	1	59	4	9	4	95	8	3
25	59410	68605	61412	83608	12353	80510	10724	25416	55136	64974	71485	11823	37343		84623	47601	92233
	6	0	6	5	5	3	09	1	2	7	5	89	2	91286	6	4	5
26	59381	13476	52473	10280	71543	96165	34175	11408	94745	93691	10613	98397	90511	57240	71757	72364	92633
	5	63	6	07	5	9	4	03	7	8	79	5	1	1	3	7	6
27	12186	70346	42656	10547	49692	26375	29616	12354		88739	53533	44655	91173	80828	11073		62579
	41	7	4	64	0	1	5	78	72476	1	9	9	9	2	32	26859	5
28	61718	12298	99806	73351	94575	90632	10304	73872	71998	81825	70818	15829	34910	38445	11901	35034	10807
	8	71	7	8	2	5	24	0	7	9	7	8	7	7	82	4	48
29	53153	14237	62944	11126	98870	70171	29374	11505	46739	13283	61942	98409	11738	12260	89069	84701	97802
	8	6	3	39	7	8	2	50	7	32	8	8	75	81	9	9	8
30	32898	88625	84183	89183	86553	99810		11937	10193	61916	10621	15755	29126	62573	11150	55788	71875
	1	6	9	6	5	8	26763	54	65	0	68	0	2	4	48	1	6

1. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 1 *job* 1 iterasi 1

$$v_{1,1} = wv_{(1,1)}^0 + C_1r_1(\mathbf{pb}_1^1 - X_{1,1}) + C_2r_2(G_1 - X_{1,1})$$

$$v_{1,1} = 0,5 \times 777904 + 2 \times 0,81(355040 - 0,68) + 2 \times 0,84(369744 - 0,68)$$

$$v_{1,1} = 1585328$$

2. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 2 *job* 2 iterasi 1

$$v_{2,2} = wv_{(2,2)}^0 + C_1r_1(\mathbf{pb}_2^1 - X_{2,2}) + C_2r_2(G_1 - X_{2,2})$$

$$v_{2,2} = 0,5 \times 789047 + 2 \times 0,02(356849 - 0,63) + 2 \times 0,92(369744 - 0,63)$$

$$v_{2,2} = 1091501$$

3. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 3 *job* 3 iterasi 1

$$v_{3,3} = wv_{(3,3)}^0 + C_1r_1(\mathbf{pb}_3^1 - X_{3,3}) + C_2r_2(G_1 - X_{3,3})$$

$$v_{3,3} = 0,5 \times 819787 + 2 \times 0,04(338502 - 0,89) + 2 \times 0,43(369744 - 0,89)$$

$$v_{3,3} = 755546$$

4. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 4 *job* 4 iterasi 1

$$v_{4,4} = wv_{(4,4)}^0 + C_1r_1(\mathbf{pb}_4^1 - X_{4,4}) + C_2r_2(G_1 - X_{4,4})$$

$$v_{4,4} = 0,5 \times 1182610 + 2 \times 0,64(361249 - 0,49) + 2 \times 0,78(369744 - 0,49)$$

$$v_{4,4} = 1634633$$

5. Contoh perhitungan *update velocity* untuk partikel 30 *job* 17 iterasi 1

$$v_{30,17} = wv_{(30,17)}^0 + C_1r_1(\mathbf{pb}_{30}^1 - X_{30,17}) + C_2r_2(G_0 - X_{30,17})$$

$$v_{30,17} = 0,5 \times 718755 + 2 \times 0,31(331762 - 0,71) + 2 \times 0,31(369744 - 0,71)$$

$$v_{30,17} = 1149131$$

Berikut merupakan perbaruan nilai kecepatan partikel  $i$  job  $j$  iterasi 1

Tabel 4. 27 *Update Velocity* Iterasi 1

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	15853	63615	10653	20016	13042	15515	88822	11078	11594	10833	11998	80054	12823	96848	54523	64181	96538
	28	1	21	34	30	46	4	66	74	02	05	5	91	0	0	2	1
2	59618	10915	15057	12285	14319	17472	12674	16334	84708	68655	11064	94890	62786	86702	12154	14707	16747
	8	01	53	26	38	08	67	18	3	8	31	7	4	1	05	25	06
3	11607	16957	75554	61550	75000	43941	14138	26058	95921	78229	10436	14296	13991	14156	11785	11735	93469
	39	93	6	4	6	3	52	2	5	9	20	86	49	24	97	17	2
4	12673	12697	85898	16346	52850	17918	14042	92978	11648	10152	10640	10265	11278	66714	12063	90732	11082
	82	68	7	33	6	84	57	9	10	47	30	48	25	1	20	5	11
5	10977	99296	14757	10476	11597	10112	98990	88439	74224	11519	52817	90341	88836	93537	13449	13683	96837
	20	5	89	23	47	04	5	3	4	81	6	4	9	4	51	39	2
6	69298	13715	12625	13689	76733	34727	11561	94862	10555	11321	75604	12331	69253	14350	63501	13732	68276
	0	53	18	35	2	1	70	4	96	75	9	01	0	62	6	70	6
7	14952	15784	67869	96955	13073	91321	68860	11432	76214	51845	11257	99716	70807	14489	78451	10687	11228
	84	56	6	4	90	4	9	67	6	8	97	0	6	71	2	54	57
8	14398	10357	15229	57183	91852	10207	12423	89476	96981	13276	58707	36673	61583	12773	10607	77452	14680
	12	70	22	1	0	62	10	7	1	79	7	1	4	48	50	6	10
9	16766	84905	12749	10028	15844	96459	11533	11930	11088	11778	15207	10199	11174	10302	88997	86109	16102
	39	5	96	03	53	3	86	63	14	17	82	58	34	18	8	7	85
10	10670	12675	85348	69471	86267	11535	12742	11465	10949	16827	11690	12480	91372	41119	91397	14989	13551
	63	79	1	2	6	75	82	44	54	24	57	67	3	9	9	6	58

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	12425 60	69635 4	13791 07	12613 42	12287 62	14169 86	57041 8	78265 7	12142 52	12901 00	54556 4	14715 59	12074 80	13401 46	77487 1	91800 7	13438 33
12	67993 7	15755 19	82937 2	39031 4	10743 62	13764 81	11907 62	36901 4	90715 2	90985 7	10183 46	13142 76	10494 33	95621 0	13058 98	10142 87	61348 3
13	83483 9	13306 10	63046 8	43968 4	62377 1	15431 79	33381 1	14430 28	64254 7	12836 80	77673 6	95799 6	95975 7	98186 5	11617 99	82281 3	16516 56
14	83380 8	11238 86	68993 2	86228 3	99920 0	68735 5	86689 7	13336 62	80254 9	14210 88	12012 86	95529 3	13993 51	11039 03	84934 4	10779 56	53679 8
15	10257 10	13040 87	90061 5	90208 2	69262 6	54334 4	10872 35	62188 2	13101 58	16224 54	68253 5	99229 1	14259 73	78159 1	95261 1	50536 7	12555 15
16	10097 97	68830 3	15306 81	98099 1	12629 43	89610 8	75047 4	13072 35	12601 56	14249 59	11063 14	97922 8	72943 0	12262 97	12313 12	11040 36	10150 37
17	31715 4	11924 24	16692 95	13494 27	13920 12	12668 12	12467 53	16005 36	79104 9	13774 54	10360 16	10210 18	11307 74	13854 23	11535 53	11200 58	10643 23
18	67498 0	14589 97	70792 5	16238 53	10081 29	12234 30	10221 94	83326 3	15015 70	11112 67	13512 45	91351 7	86887 5	14026 42	11729 51	16073 42	12015 47
19	81755 0	11731 65	56326 6	11759 77	14667 78	10698 14	10344 60	12357 16	70298 4	11488 89	82575 1	14288 67	14482 04	79256 7	13331 51	11732 14	51350 9
20	10962 47	85053 2	13608 28	49371 0	10137 11	10040 99	10505 70	12328 68	55295 5	14029 09	80717 7	68546 0	68103 5	43762 6	11754 13	12371 15	74582 9
21	16620 43	10040 49	91848 5	10579 44	89986 8	13981 47	90067 3	12830 34	90733 8	72207 6	12086 94	10181 39	12025 27	85596 9	10631 87	95352 1	71218 1

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	14123	13987	68336	14892	14585	98073	48994	11999	10379	46446	11869	28236	10695	14094	79834	12597	11423
	67	62	0	48	43	1	9	89	16	3	14	5	38	36	0	31	82
23	13023	91923	75559	91953	64643	94836	11945	10198	11928	13417	18282	10536	11823	13997	52253	15355	67120
	23	4	8	0	7	4	41	28	68	24	84	45	66	66	1	43	4
24	10239	96383	13405	12457	11460	13516	12118	93339	13126	22001	14388	13207	76404	55551	17249	91377	43802
	15	8	54	63	44	09	38	4	22	3	12	91	6	3	06	5	7
25	12469	80292	64420	10677	85824	15272	11023	28022	72538	74777	16313	11581	66956	82848	15118	70499	98112
	59	8	1	49	5	39	16	8	6	8	50	84	4	5	14	7	2
26	11571	96781	12457	11729	53382	11706	11458	14836	61844	12993	12652	13451	13316	11422	10952	54941	13203
	13	7	83	42	0	24	67	91	3	91	26	28	50	12	38	8	48
27	13977	57335	91578	90634	54910	13311	11033	13192	92920	14880	12326	77930	70812	14040	12751	30560	62068
	46	7	0	3	4	25	63	52	0	77	52	1	3	09	97	3	8
28	54436	13539	11346	85785	12917	10811	13887	15498	12127	12480	57083	55299	86188	48399	15071	72262	91271
	1	18	94	4	34	64	60	70	81	94	4	8	3	8	78	5	1
29	80271	68994	68536	17144	11621	79060	98674	11438	94896	11335	12364	11780	72694	13964	12166	13908	15221
	6	0	4	94	81	4	4	33	4	84	06	59	2	39	67	91	78
30	90815	86170	13965	72487	10363	10767	11576	16461	14952	72063	10989	66553	98205	95098	18059	11280	11491
	1	9	92	2	84	30	8	00	40	1	08	7	2	2	70	36	31

#### 4.3.9.7 Update Posisi Partikel

Langkah selanjutnya adalah memperbarui posisi partikel  $i$  job  $j$  pada iterasi 0 supaya memperbarui posisi partikel dalam mencari ruang solusi yang lebih baik.

Rumus yang digunakan sama seperti iterasi sebelumnya

Dimana;

$X_{0,0}$  = Posisi partikel (Bilangan random pada tabel 4.15)

$V_{0,0}$  = Velocity (nilai update velocity pada tabel 4.26)

Contoh perhitungan update posisi partikel  $i$  setiap job  $j$  iterasi 1

1.  $Posisi\ partikel_{1,1} = x_{1,1} + v_{1,1}$

$$Posisi\ partikel_{1,1} = 0,68 + 1585328 = 1585328,53$$

2.  $Posisi\ partikel_{2,2} = x_{2,2} + v_{2,2}$

$$Posisi\ partikel_{2,2} = 0,63 + 1091501 = 1091501,85$$

3.  $Posisi\ partikel_{3,3} = x_{3,3} + v_{3,3}$

$$Posisi\ partikel_{3,3} = 0,89 + 755546 = 755546,50$$

4.  $Posisi\ partikel_{4,4} = x_{4,4} + v_{4,4}$

$$Posisi\ partikel_{4,4} = 0,49 + 1634633 = 1634633,15$$

5.  $Posisi\ partikel_{5,5} = x_{5,5} + v_{5,5}$

$$Posisi\ partikel_{5,5} = 0,71 + 1149131 = 1149131,49$$

Tabel 4. 28 Update Posisi Partikel Iterasi 1

Partikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
1	15853	63615	10653	20016	13042	15515	88822	11078	11594	10833	11998	80054	12823	96848	54523	64181	96538
	28,53	1,85	21,37	34,30	30,67	46,09	4,52	67,24	74,04	02,12	05,47	5,66	91,09	0,58	1,24	1,77	1,19
2	59618	10915	15057	12285	14319	17472	12674	16334	84708	68655	11064	94890	62786	86702	12154	14707	16747
	8,13	01,85	53,42	26,30	38,83	07,65	68,13	18,85	3,04	8,27	31,03	7,81	4,99	1,98	05,16	25,55	06,58
3	11607	16957	75554	61550	75000	43941	14138	26058	95921	78230	10436	14296	13991	14156	11785	11735	93469
	40,03	93,30	6,50	4,36	7,16	3,39	51,69	2,55	5,16	0,03	20,68	85,92	49,59	24,26	96,82	17,88	1,81
4	12673	12697	85898	16346	52850	17918	14042	92979	11648	10152	10640	10265	11278	66714	12063	90732	11082
	82,20	68,69	7,39	33,15	6,46	85,03	57,85	0,07	10,41	47,00	30,11	49,28	26,02	1,64	21,08	5,77	11,98
5	10977	99296	14757	10476	11597	10112	98990	88439	74224	11519	52817	90341	88836	93537	13449	13683	96837
	20,16	5,06	89,22	23,23	46,92	04,11	5,11	3,03	4,97	82,37	6,35	4,64	9,95	4,67	51,39	38,83	3,07
6	69298	13715	12625	13689	76733	34727	11561	94862	10555	11321	75604	12331	69253	14350	63501	13732	68276
	0,73	53,76	19,12	35,21	2,33	2,35	69,72	4,73	96,65	74,90	9,71	01,85	0,82	62,48	5,78	70,73	6,07
7	14952	15784	67869	96955	13073	91321	68861	11432	76214	51845	11257	99716	70807	14489	78451	10687	11228
	84,91	56,37	6,12	4,43	89,78	4,54	0,37	67,59	6,30	8,30	96,82	0,83	5,99	71,24	2,35	54,49	56,92
8	14398	10357	15229	57183	91852	10207	12423	89476	96981	13276	58707	36673	61583	12773	10607	77452	14680
	12,54	69,93	21,62	1,10	0,58	62,97	09,86	7,29	2,09	80,08	7,84	0,75	5,31	48,03	50,93	6,69	09,88
9	16766	84905	12749	10028	15844	96459	11533	11930	11088	11778	15207	10199	11174	10302	88997	86109	16102
	39,04	5,56	95,99	03,27	53,73	3,05	86,03	64,04	13,87	16,77	82,02	57,85	34,70	18,53	9,05	7,32	85,77
10	10670	12675	85348	69471	86267	11535	12742	11465	10949	16827	11690	12480	91372	41119	91397	14989	13551
	63,50	79,61	1,70	2,51	6,89	75,55	82,29	44,39	54,97	23,99	58,02	67,94	2,76	9,01	9,51	7,34	58,48



Part ikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
11	12425	69635	13791	12613	12287	14169	57041	78265	12142	12901	54556	14715	12074	13401	77487	91800	13438
	60,30	4,68	06,97	42,58	62,10	86,65	7,78	7,37	52,16	00,75	5,02	59,34	80,71	46,57	1,48	7,34	33,45
12	67993	15755	82937	39031	10743	13764	11907	36901	90715	90985	10183	13142	10494	95621	13058	10142	61348
	6,99	19,30	2,60	4,62	62,36	81,31	63,10	4,63	2,02	7,01	47,24	75,98	33,61	0,60	98,98	87,43	2,84
13	83483	13306	63046	43968	62377	15431	33381	14430	64254	12836	77673	95799	95975	98186	11617	82281	16516
	8,80	10,04	9,17	4,52	1,64	78,79	0,76	28,76	8,10	80,60	6,52	7,36	7,22	5,54	99,56	3,63	56,43
14	83380	11238	68993	86228	99920	68735	86689	13336	80254	14210	12012	95529	13993	11039	84934	10779	53679
	9,29	85,65	3,25	3,38	0,79	5,36	7,56	62,30	9,38	88,53	86,74	3,23	51,48	04,05	4,37	55,59	8,94
15	10257	13040	90061	90208	69262	54334	10872	62188	13101	16224	68253	99229	14259	78159	95261	50536	12555
	10,28	87,49	5,68	2,31	6,31	4,59	35,96	2,05	58,41	55,02	5,97	1,58	73,90	0,99	1,13	7,41	14,89
16	10097	68830	15306	98099	12629	89610	75047	13072	12601	14249	11063	97922	72943	12262	12313	11040	10150
	97,34	3,63	81,36	2,21	43,92	8,34	4,89	35,12	56,58	58,93	15,06	8,38	0,42	97,44	12,70	36,78	37,20
17	31715	11924	16692	13494	13920	12668	12467	16005	79104	13774	10360	10210	11307	13854	11535	11200	10643
	4,72	24,31	95,48	26,89	12,09	12,17	53,64	35,80	9,54	53,62	16,55	18,34	74,33	23,45	54,11	57,72	23,15
18	67498	14589	70792	16238	10081	12234	10221	83326	15015	11112	13512	91351	86887	14026	11729	16073	12015
	0,64	97,80	5,52	53,12	29,59	30,50	94,46	3,79	70,60	67,66	45,43	6,98	5,86	42,59	51,61	42,37	47,57
19	81755	11731	56326	11759	14667	10698	10344	12357	70298	11488	82575	14288	14482	79256	13331	11732	51350
	1,24	65,20	6,63	77,62	78,47	14,03	60,52	16,10	3,89	89,32	1,50	67,55	04,74	7,91	52,14	14,46	9,97
20	10962	85053	13608	49371	10137	10041	10505	12328	55295	14029	80717	68546	68103	43762	11754	12371	74583
	47,31	2,08	28,57	0,65	11,52	00,08	71,22	68,55	5,53	09,62	7,24	0,58	4,71	5,99	14,29	15,29	0,03
21	16620	10040	91848	10579	89986	13981	90067	12830	90733	72207	12086	10181	12025	85596	10631	95352	71218
	43,72	49,59	5,33	44,64	8,91	47,13	3,58	34,45	8,57	6,50	94,67	39,68	27,78	9,36	87,21	1,42	2,14

Part ikel	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
22	14123	13987	68335	14892	14585	98073	48994	11999	10379	46446	11869	28236	10695	14094	79834	12597	11423
	67,31	62,54	9,76	49,09	43,98	2,10	9,55	89,74	16,19	3,02	14,07	4,80	38,36	35,60	0,38	31,72	82,81
23	13023	91923	75559	91953	64643	94836	11945	10198	11928	13417	18282	10536	11823	13997	52253	15355	67120
	23,41	4,98	8,64	0,46	7,59	4,86	41,72	29,01	68,32	24,59	84,60	45,81	66,47	66,62	1,79	43,51	4,93
24	10239	96383	13405	12457	11460	13516	12118	93339	13126	22001	14388	13207	76404	55551	17249	91377	43802
	15,55	7,89	53,78	63,71	44,81	09,44	39,00	4,89	22,67	3,36	12,61	91,79	6,09	3,24	06,91	5,34	7,97
25	12469	80292	64420	10677	85824	15272	11023	28022	72538	74777	16313	11581	66956	82848	15118	70499	98112
	59,20	8,27	0,67	49,58	5,35	39,49	16,00	8,58	6,33	8,97	49,87	84,07	4,51	5,40	13,93	7,68	2,38
26	11571	96781	12457	11729	53382	11706	11458	14836	61844	12993	12652	13451	13316	11422	10952	54941	13203
	13,18	7,04	84,22	42,26	0,01	24,28	66,69	91,36	2,92	91,33	26,40	28,89	50,02	13,32	37,93	8,50	49,10
27	13977	57335	91578	90634	54910	13311	11033	13192	92920	14880	12326	77930	70812	14040	12751	30560	62068
	46,84	7,59	0,36	4,04	4,28	25,12	63,65	52,39	0,47	76,97	52,92	1,25	4,14	09,43	97,53	3,52	8,31
28	54436	13539	11346	85785	12917	10811	13887	15498	12127	12480	57083	55299	86188	48399	15071	72262	91271
	1,06	18,40	94,61	5,05	34,60	65,02	60,85	70,54	80,72	93,59	4,77	8,54	3,50	8,46	78,17	5,60	2,16
29	80271	68994	68536	17144	11621	79060	98674	11438	94896	11335	12364	11780	72694	13964	12166	13908	15221
	6,44	0,62	4,99	94,25	81,54	4,04	3,90	33,70	3,90	84,86	06,64	60,02	2,26	39,46	67,02	91,29	78,57
30	90815	86170	13965	72487	10363	10767	11576	16461	14952	72063	10989	66553	98205	95098	18059	11280	11491
	1,24	9,46	92,65	2,93	84,97	30,07	8,69	00,37	40,53	1,68	08,87	8,12	3,10	2,04	70,53	36,32	31,49

#### 4.3.10 *Stopping Criteria*

Berdasarkan tabel 4.22 dapat dilihat bahwa terjadinya peningkatan nilai *global best* dari iterasi 0 ( $t=0$ ) sampai iterasi 1 ( $t=1$ ). Pada iterasi ( $t=0$ ) nilai *global best* adalah 366626,3511, berada pada partikel 18 ( $X_{18}^0$ ) dengan usulan *job sequence* J12 – J13 – J1 – J10 – J6 – J15 – J3 – J16 – J17 – J2 – J4 – J8 – J14 – J9 – J5 – J7 – J11 dengan nilai *makespan* 36290,18 detik atau 10,08 jam dan total *waiting time* adalah 230457,12 detik atau 66,02 jam dengan rata-rata *waiting time* mesin adalah 3,76 jam.

Pada iterasi ( $t=1$ ) nilai *global best* adalah 369743,54, berada pada partikel 9 ( $X_9^1$ ) dengan usulan urutan *job sequence* J10 – J4 – J9 – J7 – J11 – J12 – J17 – J3 – J1 – J6 – J14 – J16 – J5 – J8 – J15 – J13 – J2 dengan nilai *makespan* 41.219 detik atau 11,45 jam dan total *waiting time* adalah 219.293 detik atau 60,91 jam dengan rata-rata *waiting time* mesin adalah 3,58 jam. Terjadinya peningkatan nilai *global best* menunjukkan bahwa nilai *makespan* dan total *waiting time* masih dapat diturunkan. *Stopping criteria* ketika nilai nilai *makespan* dan total *waiting time* dari *global best* sudah mencapai nilai maksimalnya atau dengan kata lain nilai *makespan* dan total *waiting time* tidak mengalami penurunan lagi.

## BAB V

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

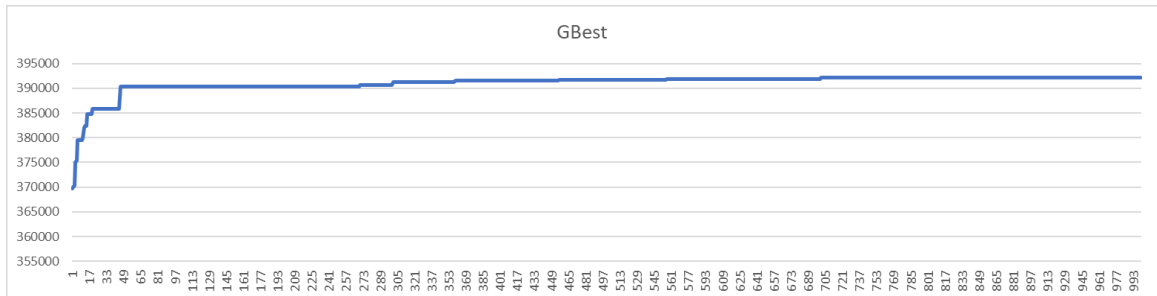
#### 5.1 Analisa Penjadwalan Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Selanjutnya, algoritma PSO dilanjutkan dengan bantuan program *Microsoft Excel* untuk mengetahui pada iterasi mana nilai *global best* terbaik. Menurut (Prasisti et al., 2023) penelitian yang telah dilakukan untuk meminimalkan *makespan* dengan pendekatan Algoritma PSO disebutkan bahwa iterasi maksimal sejumlah 1000 iterasi, semakin banyak iterasi yang dilakukan maka akan semakin memberikan solusi yang optimum. Program dari *Microsoft Excel* bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam menentukan *stopping criteria* pada iterasi keberapa untuk menunjukkan bahwa nilai *makespan* dan *waiting time* sudah mencapai nilai maksimalnya atau bahwa nilai *makespan* dan *waiting time* sudah minimum, juga membantu perusahaan dalam mengatasi masalah penjadwalan produksi dalam minimasi *waiting time* dan *makespan*. Perhitungan Algoritma PSO yang dilakukan secara manual akan membutuhkan banyak waktu serta memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi, oleh karena itu dibutuhkan bantuan program yang dapat membantu memecahkan permasalahan ini dalam mencari usulan *job sequence* untuk dapat meminimasi *makespan* juga *waiting time*.

Algoritma PSO, setiap individu atau partikel bergerak bebas dalam multi-dimensi untuk mencari ruang dengan kecepatan tertentu supaya partikel tersebut menemukan posisi terbaiknya. Setiap partikel akan dievaluasi dengan menghitung nilai *fitness* yang mana nilai *fitness* tersebut dihitung dari fungsi objektifnya yaitu nilai minimasi *makespan* dan minimasi *waiting time*. Hasil dari evaluasi tersebut, partikel akan memperbaharui posisinya serta kecepatannya dengan mengulangi langkah yang sama hingga hasil daripada iterasi tidak mengalami perubahan atau stabil/konstan. Rumus kecepatan akan terus diperbarui sesuai dengan iterasinya, sehingga konsep algoritma PSO adalah

memperbarui setiap posisi dan kecepatan partikelnya sesuai dengan posisi dan kecepatan pada iterasi sebelumnya.

Berikut merupakan grafik hasil *Global Best* (Gbest) 1000 iterasi yang dibantu oleh program *Microsoft Excel*



Gambar 5. 1 *Gbest* 1000 Iterasi

Berdasarkan gambar grafik *Gbest* 1000 iterasi, grafik menunjukkan nilai yang stabil pada iterasi 700 sehingga untuk mendapatkan nilai optimal maka ditentukan *stopping criteria* pada iterasi 700 dengan nilai *Gbest* 392130, artinya pada iterasi ke 700 nilai *makespan* dan *waiting time* sudah mencapai hasil yang maksimal tidak mengalami penurunan lagi atau kenaikan nilai *gbest*. *Stopping criteria* pada iterasi ke 700 dicukupkan karena untuk meminimalisir waktu pengerjaan komputasi Algoritma *Particle Swarm Optimization*.

Hasil penjadwalan produksi dari bantuan program *Microsoft Excel* yang ditunjukkan pada iterasi 700 hasil *Global Best* (*Gbest*) yang stabil dengan urutan *job sequence* dimulai dari, J13 – J12 – J14 – J11 – J15 – J7 – J17 – J6 – J10 – J2 – J4 – J3 – J1 – J9 – J5 – J8 – J16. Berikut merupakan tabel perhitungan *makespan* dan *waiting time* terbaik berdasarkan hasil program *Microsoft Excel* Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Tabel 5. 1 Nilai *Makespan* dan *Waiting Time* Terbaik

Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	
13	0,00	196,97	196,97	196,97	149,88	346,85	346,85	428,50	775,35	775,35	574,35	1349,70	1349,70	4005,38	5355,08	5355,08	237,15	5592,23	0,00
12	196,97	195,39	392,37	392,37	148,27	540,63	775,35	448,22	1223,57	1349,70	693,77	2043,47	5355,08	3553,93	8909,01	8909,01	237,15	9146,16	3672,46
14	392,37	240,94	633,30	633,30	180,44	813,74	1223,57	4347,38	5570,95	5570,95	1880,38	7451,33	8909,01	364,75	9273,76	9273,76	385,94	9659,70	1867,50
11	633,30	456,78	1090,08	1090,08	2905,23	3995,30	5570,95	463,52	6034,47	7451,33	895,51	8346,84	9273,76	134,61	9408,37	9659,07	163,34	9823,04	4170,76
15	109,08	196,80	1286,88	3995,30	148,88	4144,18	6034,47	432,35	6466,82	8346,84	580,22	8927,06	9408,37	3788,21	13196,58	1319,65	237,15	13433,74	6960,05
7	128,68	135,17	1422,05	4144,18	122,61	4266,79	6466,82	3424,42	9891,23	9891,23	2360,26	12251,50	1319,65	213,85	13410,43	1343,74	373,02	13806,76	5890,55
17	142,20	455,09	1877,15	4266,79	2911,42	7178,21	9891,23	462,47	10353,71	1225,15	896,77	13148,26	1341,04	215,36	13625,79	1380,67	163,14	13969,90	7443,59
6	187,15	456,66	2333,80	7178,21	2930,95	10109,16	1035,37	464,22	10817,93	1314,82	906,20	14054,46	1405,44	119,37	14173,84	1417,38	163,12	14336,95	7419,29
10	233,80	194,14	2527,95	1010,91	149,44	10258,60	1081,79	427,29	11245,22	1405,44	560,19	14614,65	1461,46	3576,36	18191,02	1819,10	237,15	18428,17	10949,79
2	252,95	90,45	2618,40	1025,86	81,46	10340,06	1124,52	2282,55	13527,77	1461,46	1573,46	16188,11	1819,10	142,30	18333,32	1842,81	248,50	18676,67	11730,00

Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			Waiting Time
	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	Start	Durat ion	Comple tion	
4	261 8,40	90,20	2708,6 0	1034 0,06	81,43	10421, 50	1352 7,77	2282, 08	15809, 85	1618 8,11	1573, 88	17762, 00	1833 3,32	142,5 5	18475, 86	1867 6,67	248,0 2	18924, 69	11888,13
3	270 8,60	197,8 2	2906,4 2	1042 1,50	149,3 2	10570, 82	1580 9,85	430,2 4	16240, 09	1776 2,00	584,1 1	18346, 11	1847 5,86	3910, 70	22386, 56	2238 6,56	237,1 5	22623, 72	14405,77
1	290 6,42	135,6 2	3042,0 4	1057 0,82	121,9 6	10692, 77	1624 0,09	3510, 18	19750, 27	1975 0,27	2360, 75	22111, 02	2238 6,56	213,3 8	22599, 94	2262 3,72	372,9 2	22996, 64	13375,42
9	304 2,04	196,7 4	3238,7 8	1069 2,77	148,5 2	10841, 29	1975 0,27	431,2 1	20181, 49	2211 1,02	561,3 7	22672, 39	2267 2,39	3809, 12	26481, 51	2648 1,51	237,1 5	26718, 67	18292,50
5	323 8,78	241,8 2	3480,6 0	1084 1,29	215,6 6	11056, 95	2018 1,49	4335, 04	24516, 52	2451 6,52	1839, 83	26356, 35	2648 1,51	368,2 2	26849, 73	2684 9,73	378,5 9	27228, 33	16610,39
8	348 0,60	240,7 4	3721,3 4	1105 6,95	180,6 0	11237, 54	2451 6,52	4335, 04	28851, 56	2885 1,56	1794, 38	30645, 94	3064 5,94	1089, 00	31734, 95	3173 4,95	387,1 2	32122, 07	20614,59
16	372 1,34	241,5 6	3962,9 0	1123 7,54	183,7 1	11421, 25	2885 1,56	4351, 61	33203, 17	3320 3,17	1811, 75	35014, 92	3501 4,92	367,4 9	35382, 41	3538 2,41	362,5 8	35744, 99	24704,95

Berdasarkan hasil program Algoritma *Particle Swarm Optimization* menghasilkan nilai optimal *makespan* 35744,99 detik atau 9 jam dan nilai *total waiting time* 179995,7 detik atau 50 jam dengan rata-rata *waiting time* adalah 2 jam.

- Posisi partikel ( $Z$ )

$$Z = (0,5 * makespan) + (0,5 * waiting\ time)$$

$$Z = (0,5 * 35744,99) + (0,5 * 179995,7)$$

$$Z = 107870,4$$

- Nilai *Fitness*

$$Fitness = (bignumber - Z)$$

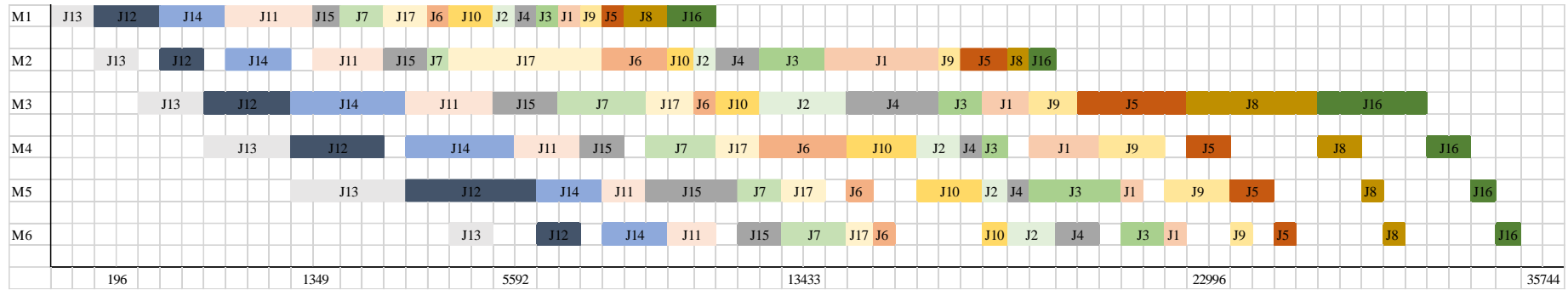
$$Fitness = (500.000 - 107870,4)$$

$$Fitness = 392130$$

Perhitungan nilai *fitness* bertujuan untuk mengevaluasi individu dalam sebuah populasi. Individu yang dimaksudkan adalah menggambarkan *job sequence* dan populasi digambarkan sebagai iterasi. Nilai *fitness* pada penelitian ini adalah memaksimalkan nilainya karena bertujuan untuk mencari nilai *makespan* dan *waiting time* minimum. Sesuai pada perhitungan nilai *fitness* yaitu 392130 sudah sesuai dengan grafik hasil daripada *gbest* terbaik. Sehingga, dapat dikatakan bahwa algoritma *Particle Swarm Optimization* sudah menghasilkan hasil yang optimal.



Berikut merupakan *gantt chart* penjadwalan produksi terbaik untuk perusahaan



Gambar 5. 2 *Gantt Chart* Penjadwalan Terbaik

## 5.2 Analisa Perbandingan Penjadwalan Algoritma PSO dengan Penjadwalan Perusahaan

Jam kerja per hari perusahaan adalah 12 jam berdasarkan perhitungan penjadwalan perusahaan yaitu menjadwalkan pekerjaan berdasarkan kedatangan prioritas order menghasilkan *makespan* sebesar 44330,31 detik atau dan total *waiting time* sebesar 328103,38 detik atau 91 jam dengan rata-rata *waiting time* sebesar 5 jam. Dikarenakan waktu penjadwalan perusahaan kurang produktif maka perusahaan membutuhkan metode penjadwalan yang dapat meminimasi waktu penjadwalan produksi menggunakan metode Algoritma PSO yang diharapkan menghasilkan waktu penjadwalan produksi lebih baik daripada metode yang dilakukan perusahaan.

Hasil nilai *makespan* dan *waiting time* berdasarkan metode penjadwalan Algoritma PSO menghasilkan nilai *makespan* 35744,99 detik atau 9 jam dan total *waiting time* 179995,7 detik atau 50 jam dengan rata-rata *waiting time* menjadi 2 jam. Perbandingan hasil nilai *makespan* dan total *waiting time* berdasarkan penjadwalan yang digunakan perusahaan dengan Algoritma PSO, maka terjadi penurunan nilai *makespan* dan total *waiting time* sebesar 8585,32 detik atau apabila dipersentasikan terjadi penurunan sebesar 24%. Algoritma *Particle Swarm Optimization* telah memberikan hasil penjadwalan produksi terbaik untuk meminimasi *makespan* dan total *waiting time*.

Perbandingan hasil penjadwalan produksi perusahaan dengan metode Algoritma PSO dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 2 Perbandingan *Sequencing* Perusahaan dengan PSO

Metode	<i>Job Sequencing</i>
Perusahaan	J1 – J2 – J3 – J4 – J5 – J6 – J7 – J8 – J9 – J10 – J11 – J12 – J13 – J14 – J15 – J16 – J17
PSO	J13 – J12 – J14 – J11 – J15 – J7 – J17 – J6 – J10 – J2 – J4 – J3 – J1 – J9 – J5 – J8 – J16

Tabel 5. 3 Perbandingan Waktu Penjadwalan Perusahaan dengan PSO

	Perusahaan	Algoritma PSO
Nilai <i>Makespan</i>	44330,31 detik	35744,99 detik
Nilai Total <i>Waiting Time</i>	328103,38 detik	179995,7 detik
Nilai Rata-Rata <i>Waiting Time</i>	5 jam	2 jam

Maka, pengambilan keputusan perusahaan adalah menggunakan metode Algoritma PSO yang dapat diterapkan guna untuk memaksimalkan waktu produksi untuk mengerjakan seluruh *job* sebanyak 17 *job* dengan 6 mesin produksi.

### **5.3 Analisa Keunggulan dan Kelemahan Model Penjadwalan Algoritma PSO**

Berikut merupakan kelebihan dan kelemahan penjadwalan dengan metode yang diusulkan.

- Keunggulan metode Algoritma PSO
  1. Tidak memerlukan perhitungan matematika yang banyak untuk memecahkan masalah optimasi.
  2. Menghasilkan solusi optimasi yang baik,
  3. Algoritma PSO tidak menggunakan *crossover*, mutasi, dibanding metode yang lainnya.
- Kelemahan metode Algoritma PSO
  1. Algoritma PSO tidak memperhatikan waktu proses karena lebih menekankan pada pergerakan partikel-partikel.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Penjadwalan produksi menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* menghasilkan nilai minimasi *makespan* sebesar 35744,99 detik atau 9 jam dan minimasi total *waiting time* sebesar 179995,7 detik atau 50 jam.
2. Usulan urutan *job sequence* pada penjadwalan produksi yang optimal untuk dapat meminimasi *makespan* dan total *waiting time* adalah J13 – J12 – J14 – J11 – J15 – J7 – J17 – J6 – J10 – J2 – J4 – J3 – J1 – J9 – J5 – J8 – J16.

#### 6.2 Saran

Berikut merupakan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan parameter yang berbeda, yaitu meningkatkan partikel dalam iterasi maupun memperbarui bobot *inertia weight*.
2. Penelitian selanjutnya, perlu dikembangkan metode penelitian dengan kombinasi metode apakah dapat menghasilkan hasil yang lebih baik lagi atau tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A., Adnyana, P., Widiartha, I. M., Muliantara, A., Astuti, L. G., & Agung, M. (2023). *Implementasi Metode Hybrid Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm Pada Penjadwalan Job Shop Scheduling*. 11(3), 539–544.
- Alharkan, I., Saleh, M., Ghaleb, M. A., Kaid, H., Farhan, A., & Almarfadi, A. (2020). *Jurnal Universitas Raja Saud – Ilmu Teknik Tabu search dan algoritma particle swarm optimization untuk dua masalah penjadwalan mesin paralel yang identik dengan satu server*. 32, 330–338.
- Babor, M., Senge, J., Rosell, C. M., Rodrigo, D., & Hitzmann, B. (2021). *Optimization of No-Wait Flowshop Scheduling Problem in Bakery Production Optimization of No - Wait Flowshop Scheduling Problem in Bakery Production with Modified PSO , NEH and SA*. November.
- Bailey, J. E., & Bedworth, D. D. (1987). *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, Design 2/E*. John Willey & Sons. Inc.: New York.
- Baker, K. (1974). *Introduction To Sequencing and Scheduling*. New York: Jhon Willey and Sons. Inc.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2009). *Principles of sequencing and scheduling*, A John Wiley & Sons. Inc. Publication.
- Febianti, E., Falahudin, M., Indutri, J. T., Teknik, F., Sultan, U., Tirtayasa, A., & Optimization, P. S. (2018). *USULAN PENJADWALAN PRODUKSI PALLET MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN*. 2012, 485–492.
- Hanindia, M., Swari, P., Putra, C. A., & Handika, I. P. S. (2022). *Analisis Perbandingan Algoritma Genetika dan Modified Improved Particle Swarm Optimization dalam Penjadwalan Mata Kuliah* *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika : JANAPATI / 93*. 11, 92–101.
- Haryono, A. P. (2018). *Analisa Penjadwalan Produksi Untuk Memperoleh Waktu dan*

- Biaya Yang Minimal Pada UD. Mitra Jaya Sidoarjo. UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945.*
- Irman, A., Febianti, E., & Khasanah, U. (2019). *Minimizing Makespan On Flow Shop Scheduling using Campbel Dudek and Smith , Particle Swarm Optimization , and Proposed Heuristic Algorithm.*
- Irwan, H. (2021). Metode Minimasi Makespan dengan Menghilangkan Waktu Tunggu pada Penjadwalan Job Shop. *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, 9(1), 104–116.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948.
- Krisnawati, M. (2011). Perbandingan Performansi Algoritma Cross Entropy (CE) dan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) pada Penyelesaian Permasalahan Flowshop Scheduling. *Dinamika Teknik*, 5(2), 53–63.
- Maisazahra, N., Astuti, M. D., & Prasetio, M. D. (2022). *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN Identical Parallel Machine Scheduling to Minimize Makespan Using Suggested Algorithm Method at XYZ Company. 06(01)*, 1–10.
- Muharni, Y., Febianti, E., & Sofa, N. N. (2019). *MINIMASI MAKESPAN PADA PENJADWALAN FLOW SHOP MESIN PARALEL PRODUK STEEL BRIDGE B-60 MENGGUNAKAN METODE LONGEST PROCESSING TIME DAN PARTICLE SWARM. 4(2)*, 69.
- Nduru, S. W., & Purba, R. (2021). *COMBINATION OF ACO AND PSO TO MINIMIZE MAKESPAN IN ORDERED FLOWSHOP SCHEDULING PROBLEMS. 9(2)*, 150–158.
- Nurainun, T., & Oktiantri, W. (2019). *Usulan Penjadwalan Job Machine Seri Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) Untuk Meminimasi Makespan di UD. Wira Vulkanisir. 12(2)*, 62–68.
- Panjaitan, A. C., Informatika, A., & Utara, S. (2021). *ORDERED FLOWSHOP MENGGUNAKAN PSO. 6(2)*.
- Prasisti, D., Nugroho, Y. A., Industri, J. T., Sains, F., & Yogyakarta, U. T. (2023). *Optimasi Penjadwalan Produksi untuk Meminimalkan Makespan dengan Pendekatan Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm. 2(2)*, 111–118.
- Puspitasari, G. (2012). *Algoritma Particle Swarm Optimization dengan Local Search untuk Permasalahan Penjadwalan Permutation Flowshop. UNIVERSITAS*

AIRLANGGA.

- Suryani, A. P. (2011). *PERANCANGAN PROGRAM APLIKASI PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA NAWAZ, ENSCORE AND HAM (NEH) UNTUK PRODUK SHOPPING BAG DI PT. WANGSA JATRA LESTARI*. II–19.
- Tasgetiren, M. F., Liang, Y.-C., Sevkli, M., & Gencyilmaz, G. (2007). A particle swarm optimization algorithm for makespan and total flowtime minimization in the permutation flowshop sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1930–1947.
- Tuegeh, M., Soeprijanto, & Purnomo, H. M. (2009). *MODIFIED IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR OPTIMAL GENERATOR SCHEDULING*. 2009(Snati).
- Wu, M., Yang, D., & Liu, T. (2022). An Improved Particle Swarm Algorithm with the Elite Retain Strategy for Solving Flexible Jobshop Scheduling Problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 2173(1), 12082.
- Y, M., Irman, E, F., TE, R., & NN, S. (2020). *The application of LPT , CEGA , and PSO method on flow shop scheduling with parallel machine The application of LPT , CEGA , and PSO method on flow shop scheduling with parallel machine*.

## LAMPIRAN

Lampiran pada penelitian ini merupakan kelengkapan yang mendukung pelaksanaan penelitian memuat tabel dan gambar kelengkapan untuk memperjelas uraian perhitungan pada penelitian ini. Pada lampiran penelitian ini memuat:

1. Perhitungan nilai *makespan* dan *waiting time* iterasi 0 ( $t=0$ ) partikel 3 sampai partikel 30
2. Perhitungan nilai *makespan* dan *waiting time* iterasi 1 ( $t=1$ ) partikel 3 sampai partikel 30
3. Nilai *Global Best (Gbest)* iterasi 1-1000











partikel 11																				
Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			WT	
	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion		
11	0,00	456,78	456,78	456,78	2905,23	3362,00	3362,00	463,52	3825,52	3825,52	895,51	4721,03	4721,03	134,61	4855,64	4855,64	163,34	5018,97	0,00	
13	456,78	196,97	653,75	3362,00	149,88	3511,88	3825,52	428,50	4254,02	4721,03	574,35	5295,38	5295,38	4005,38	9300,77	9300,77	237,15	9537,92	3488,91	
17	653,75	455,09	1108,84	3511,88	2911,42	6423,29	6423,29	462,47	6885,77	6885,77	896,77	7782,54	9300,77	215,36	9516,13	9537,92	163,14	9701,06	3943,06	
1	1108,84	135,62	1244,46	6423,29	121,96	6545,25	6885,77	3510,18	10395,95	10395,95	2360,75	12756,69	12756,69	213,38	12970,07	12970,07	372,92	13343,00	5519,35	
4	1244,46	90,20	1334,66	6545,25	81,43	6626,69	10395,95	2282,08	12678,03	12756,69	1573,88	14330,58	14330,58	142,55	14473,12	14473,12	248,02	14721,15	9058,52	
16	1334,66	241,56	1576,22	6626,69	183,71	6810,39	12678,03	4351,61	17029,64	17029,64	1811,75	18841,38	18841,38	367,49	19208,88	19208,88	362,58	19571,46	10918,10	
3	1576,22	197,82	1774,04	6810,39	149,32	6959,71	17029,64	430,24	17459,87	18841,38	584,11	19425,49	19425,49	3910,70	23336,19	23336,19	237,15	23573,35	16487,78	
9	1774,04	196,74	1970,79	6959,71	148,52	7108,23	17459,87	431,21	17891,09	19425,49	561,37	19986,86	23336,19	3809,12	27145,32	27145,32	237,15	27382,47	20224,31	
12	1970,79	195,39	2166,18	7108,23	148,27	7256,50	17891,09	448,22	18339,31	19986,86	693,77	20680,63	27145,32	3553,93	30699,25	30699,25	237,15	30936,40	23688,88	
2	2166,18	90,45	2256,63	7256,50	81,46	7337,96	18339,31	2282,55	20621,86	20680,63	1573,46	22254,09	30699,25	142,30	30841,55	30936,40	248,50	31184,90	24600,00	
5	2256,63	241,82	2498,45	7337,96	215,66	7553,61	20621,86	4335,04	24956,90	24956,90	1839,83	26796,72	30841,55	368,22	31209,77	31209,77	378,59	31588,36	21952,57	
7	2498,45	135,17	2633,63	7553,61	122,61	7676,23	24956,90	3424,42	28381,32	28381,32	2360,26	30741,58	31209,77	213,85	31423,61	31588,36	373,02	31961,38	22833,60	
6	2633,63	456,66	3090,28	7676,23	2930,95	10607,18	28381,32	464,22	28845,54	30741,58	906,20	31647,78	31647,78	119,37	31767,15	31961,38	163,12	32124,50	24450,36	
8	3090,28	240,74	3331,02	10607,18	180,60	10787,78	28845,54	4335,04	33180,58	33180,58	1794,38	34974,96	34974,96	1089,00	36063,96	36063,96	387,12	36451,08	25333,92	
15	3331,02	196,80	3527,82	10787,78	148,88	10936,65	33180,58	432,35	33612,92	34974,96	580,22	35555,17	36063,96	3788,21	39852,18	39852,18	237,15	40089,33	31374,70	
14	3527,82	240,94	3768,76	10936,65	180,44	11117,09	33612,92	4347,38	37960,31	37960,31	1880,38	39840,69	39852,18	364,75	40216,93	40216,93	385,94	40602,87	29675,21	
10	3768,76	194,14	3962,90	11117,09	149,44	11266,53	37960,31	427,29	38387,60	39840,69	560,19	40400,88	40400,88	3576,36	43977,24	43977,24	237,15	44214,40	35301,06	
																			308850,34	

partikel 12																				
Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			WT	
	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion		
5	0,00	241,82	241,82	241,82	215,66	457,48	457,48	4335,04	4792,52	4792,52	1839,83	6632,34	6632,34	368,22	7000,56	7000,56	378,59	7379,16	0,00	
2	241,82	90,45	332,27	457,48	81,46	538,94	4792,52	2282,55	7075,07	7075,07	1573,46	8648,53	8648,53	142,30	8790,82	8790,82	248,50	9039,32	4378,78	
7	332,27	135,17	467,45	538,94	122,61	661,55	7075,07	3424,42	10499,48	10499,48	2360,26	12859,75	12859,75	213,85	13073,59	13073,59	373,02	13446,62	6485,01	
16	467,45	241,56	709,01	709,01	183,71	892,71	10499,48	4351,61	14851,09	14851,09	1811,75	16662,84	16662,84	367,49	17030,33	17030,33	362,58	17392,91	9606,77	
12	709,01	195,39	904,40	904,40	148,27	1052,67	14851,09	448,22	15299,31	16662,84	693,77	17356,61	17356,61	3553,93	20910,54	20910,54	237,15	21147,69	15161,95	
17	904,40	455,09	1359,50	1359,50	2911,42	4270,91	15299,31	462,47	15761,79	17356,61	896,77	18253,37	20910,54	215,36	21125,90	21147,69	163,14	21310,83	15302,17	
8	1359,50	240,74	1600,23	4270,91	180,60	4451,51	15761,79	4335,04	20096,83	20096,83	1794,38	21891,21	21891,21	1089,00	22980,21	22980,21	387,12	23367,33	13980,96	
3	1600,23	197,82	1798,06	4451,51	149,32	4600,83	20096,83	430,24	20527,06	21891,21	584,11	22475,32	22980,21	3910,70	26890,91	26890,91	237,15	27128,07	20018,49	
6	1798,06	456,66	2254,71	4600,83	2930,95	7531,79	20527,06	464,22	20991,29	22475,32	906,20	23381,52	26890,91	119,37	27010,28	27128,07	163,12	27291,18	20452,61	
10	2254,71	194,14	2448,86	7531,79	149,44	7681,22	20991,29	427,29	21418,58	23381,52	560,19	23941,71	27010,28	3576,36	30586,65	30586,65	237,15	30823,80	23424,51	
11	2448,86	456,78	2905,63	7681,22	2905,23	10586,45	21418,58	463,52	21882,10	23941,71	895,51	24837,22	30586,65	134,61	30721,25	30823,80	163,34	30987,14	23519,31	
15	2905,63	196,80	3102,44	10586,45	148,88	10735,32	21882,10	432,35	22314,44	24837,22	580,22	25417,43	30721,25	3788,21	34509,47	34509,47	237,15	34746,62	26457,38	
9	3102,44	196,74	3299,18	10735,32	148,52	10883,84	22314,44	431,21	22745,66	25417,43	561,37	25978,80	34509,47	3809,12	38318,59	38318,59	237,15	38555,75	30069,19	
1	3299,18	135,62	3434,80	10883,84	121,96	11005,80	22745,66	3510,18	26255,84	26255,84	2360,75	28616,58	38318,59	213,38	38531,97	38555,75	372,92	38928,67	28914,69	
13	3434,80	196,97	3631,77	11005,80	149,88	11155,67	26255,84	428,50	26684,34	28616,58	574,35	29190,94	38531,97	4005,38	42537,35	42537,35	237,15	42774,50	33747,47	
4	3631,77	90,20	3721,97	11155,67	81,43	11237,11	26684,34	2282,08	28966,42	29190,94	1573,88	30764,82	42537,35	142,55	42679,90	42774,50	248,02	43022,53	34972,59	
14	3721,97	240,94	3962,90	11237,11	180,44	11417,55	28966,42	4347,38	33313,80	33313,80	1880,38	35194,18	42679,90	364,75	43044,65	43044,65	385,94	43430,59	32308,79	
																			338800,65	









partikel 19 Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			WT	
	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion		
6	0,00	456,66	456,66	456,66	2930,95	3387,61	3387,61	464,22	3851,83	3851,83	906,20	4758,03	4758,03	119,37	4877,40	4877,40	163,12	5040,52	0,00	
1	456,66	135,62	592,27	3387,61	121,96	3509,56	3851,83	3510,18	7362,01	7362,01	2360,75	9722,76	9722,76	213,38	9936,13	9936,13	372,92	10309,06	3137,60	
15	592,27	196,80	789,08	3509,56	148,88	3658,44	7362,01	432,35	7794,36	7794,36	9722,76	580,22	10302,97	10302,97	3788,21	14091,19	14091,19	237,15	14328,34	8352,46
14	789,08	240,94	1030,01	3658,44	180,44	3838,88	7794,36	4347,38	12141,74	12141,74	1880,38	14022,12	14091,19	364,75	14455,94	14455,94	385,94	14841,88	6652,97	
9	1030,01	196,74	1226,76	3838,88	148,52	3987,40	12141,74	431,21	12572,95	14022,12	561,37	14583,49	14583,49	3809,12	18392,62	18392,62	237,15	18629,77	12215,64	
4	1226,76	90,20	1316,95	3987,40	81,43	4068,83	12572,95	2282,08	14855,03	14855,03	1573,88	16428,92	18392,62	142,55	18535,16	18629,77	248,02	18877,79	13232,87	
10	1316,95	194,14	1511,10	4068,83	149,44	4218,27	14855,03	427,29	15282,33	16428,92	560,19	16989,11	18535,16	3576,36	22111,53	22111,53	237,15	22348,68	15887,15	
7	1511,10	135,17	1646,27	4218,27	122,61	4340,88	15282,33	3424,42	18706,74	18706,74	2360,26	21067,00	22111,53	213,85	22325,37	22348,68	373,02	22721,70	14581,27	
3	1646,27	197,82	1844,10	4340,88	149,32	4490,20	18706,74	430,24	19136,98	21067,00	584,11	21651,11	22325,37	3910,70	26236,07	26236,07	237,15	26473,23	19317,61	
2	1844,10	90,45	1934,55	4490,20	81,46	4571,66	19136,98	2282,55	21419,53	21651,11	1573,46	23224,57	26236,07	142,30	26378,37	26473,23	248,50	26721,73	20458,91	
16	1934,55	241,56	2176,11	4571,66	183,71	4755,37	21419,53	4351,61	25771,14	25771,14	1811,75	27582,89	27582,89	367,49	27950,38	27950,38	362,58	28312,96	19059,72	
17	2176,11	455,09	2631,20	4755,37	291,42	7666,79	25771,14	462,47	26233,61	27582,89	896,77	28479,65	28479,65	215,36	28695,01	28695,01	163,14	28858,15	21577,79	
12	2631,20	195,39	2826,60	7666,79	148,27	7815,05	26233,61	448,22	26681,83	28479,65	693,77	29173,42	29173,42	3553,93	32727,35	32727,35	237,15	32964,51	25056,57	
11	2826,60	456,78	3283,37	7815,05	2905,23	10720,28	26681,83	463,52	27145,35	29173,42	895,51	30068,93	32727,35	134,61	32861,96	32964,51	163,34	33127,84	25282,27	
8	3283,37	240,74	3524,11	10720,28	180,60	10900,88	27145,35	4335,04	31480,39	31480,39	1794,38	33274,77	33274,77	1089,00	34363,78	34363,78	387,12	34750,90	23440,65	
5	3524,11	241,82	3765,93	10900,88	215,66	11116,53	31480,39	4335,04	35815,43	35815,43	1839,83	37655,26	37655,26	368,22	38023,48	38023,48	378,59	38402,07	27498,81	
13	3765,93	196,97	3962,90	11116,53	149,88	11266,41	35815,43	428,50	36243,93	37655,26	574,35	38229,61	38229,61	4005,38	42234,99	42234,99	237,15	42472,15	33113,98	
																			288866,25	

partikel 20 Job	M1			M2			M3			M4			M5			M6			WT	
	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion	Start	Duration	Completion		
16	0,00	241,56	241,56	241,56	183,71	425,27	425,27	4351,61	4776,88	4776,88	1811,75	6588,62	6588,62	367,49	6956,11	6956,11	362,58	7318,70	0,00	
15	241,56	196,80	438,37	438,37	148,88	587,24	4776,88	432,35	5209,22	6588,62	580,22	7168,84	7168,84	3788,21	10957,05	10957,05	237,15	11194,21	5569,04	
4	438,37	90,20	528,56	587,24	81,43	668,68	5209,22	2282,08	7491,30	7491,30	1573,88	9065,18	10957,05	142,55	11099,60	11194,21	248,02	11442,23	6585,70	
7	528,56	135,17	663,74	668,68	122,61	791,29	7491,30	3424,42	10915,72	10915,72	2360,26	13275,98	13275,98	213,85	13489,83	13489,83	373,02	13862,85	6704,95	
2	663,74	90,45	754,19	791,29	81,46	872,75	10915,72	2282,55	13198,27	13275,98	1573,46	14849,44	14849,44	142,30	14991,74	14991,74	248,50	15240,24	10157,78	
5	754,19	241,82	996,01	996,01	215,66	1211,67	13198,27	4335,04	17533,30	17533,30	1839,83	19373,13	19373,13	368,22	19741,35	19741,35	378,59	20119,95	11986,60	
10	996,01	194,14	1190,16	1211,67	149,44	1361,10	17533,30	427,29	17960,60	19373,13	560,19	19933,32	19933,32	3576,36	23509,68	23509,68	237,15	23746,84	17606,25	
13	1190,16	196,97	1387,13	1387,13	149,88	1537,00	17960,60	428,50	18389,10	19933,32	574,35	20507,67	23509,68	4005,38	27515,07	27515,07	237,15	27752,22	20969,83	
8	1387,13	240,74	1627,86	1627,86	180,60	1808,46	18389,10	4335,04	22724,13	22724,13	1794,38	24518,52	27515,07	1089,00	28604,07	28604,07	387,12	28991,19	19577,18	
17	1627,86	455,09	2082,96	2082,96	2911,42	4994,38	22724,13	462,47	23186,61	24518,52	896,77	25415,28	28604,07	215,36	28819,43	28991,19	163,14	29154,33	22422,21	
14	2082,96	240,94	2323,89	4994,38	180,44	5174,82	23186,61	4347,38	27533,99	27533,99	1880,38	29414,38	29414,38	364,75	29779,13	29779,13	385,94	30165,07	20682,28	
3	2323,89	197,82	2521,72	5174,82	149,32	5324,14	27533,99	430,24	27964,23	29414,38	584,11	29998,49	29998,49	3910,70	33909,19	33909,19	237,15	34146,34	26313,10	
6	2521,72	456,66	2978,37	5324,14	2930,95	8255,09	27964,23	464,22	28428,45	29998,49	906,20	30904,69	33909,19	119,37	34028,56	34146,34	163,12	34309,46	26747,22	
1	2978,37	135,62	3113,99	8255,09	121,96	8377,04	28428,45	3510,18	31938,63	31938,63	2360,75	34299,38	34299,38	213,38	34512,76	34512,76	372,92	34885,68	25192,51	
9	3113,99	196,74	3310,73	8377,04	148,52	8525,56	31938,63	431,21	32369,85	34299,38	561,37	34860,75	34860,75	3809,12	38669,87	38669,87	237,15	38907,03	30408,91	
11	3310,73	456,78	3767,51	8525,56	2905,23	11430,79	32369,85	463,52	32833,37	34860,75	895,51	35756,26	38669,87	134,61	38804,48	38907,03	163,34	39070,37	30740,66	
12	3767,51	195,39	3962,90	11430,79	148,27	11579,05	32833,37	448,22	33281,59	35756,26	693,77	36450,03	38804,48	3553,93	42358,41	42358,41	237,15	42595,56	33551,32	
																			315215,53	











































**Lampiran 3. Hasil Perhitungan Nilai *Global Best* Iterasi 1-1000**

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
1	369744	21	385823,8	41	385823,8	61	390296,1	81	390296,1	101	390313,5	121	390313,5
2	370084	22	385823,8	42	385823,8	62	390296,1	82	390296,1	102	390313,5	122	390313,5
3	370361	23	385823,8	43	385823,8	63	390296,1	83	390296,1	103	390313,5	123	390313,5
4	374916,8	24	385823,8	44	385823,8	64	390296,1	84	390313,5	104	390313,5	124	390313,5
5	375493,9	25	385823,8	45	385823,8	65	390296,1	85	390313,5	105	390313,5	125	390313,5
6	379523,9	26	385823,8	46	390296,1	66	390296,1	86	390313,5	106	390313,5	126	390313,5
7	379523,9	27	385823,8	47	390296,1	67	390296,1	87	390313,5	107	390313,5	127	390313,5
8	379523,9	28	385823,8	48	390296,1	68	390296,1	88	390313,5	108	390313,5	128	390313,5
9	379523,9	29	385823,8	49	390296,1	69	390296,1	89	390313,5	109	390313,5	129	390313,5
10	379523,9	30	385823,8	50	390296,1	70	390296,1	90	390313,5	110	390313,5	130	390313,5
11	379996,8	31	385823,8	51	390296,1	71	390296,1	91	390313,5	111	390313,5	131	390313,5
12	382011,9	32	385823,8	52	390296,1	72	390296,1	92	390313,5	112	390313,5	132	390313,5
13	382426,7	33	385823,8	53	390296,1	73	390296,1	93	390313,5	113	390313,5	133	390313,5
14	382426,7	34	385823,8	54	390296,1	74	390296,1	94	390313,5	114	390313,5	134	390313,5
15	384801	35	385823,8	55	390296,1	75	390296,1	95	390313,5	115	390313,5	135	390313,5
16	384801	36	385823,8	56	390296,1	76	390296,1	96	390313,5	116	390313,5	136	390313,5
17	384801	37	385823,8	57	390296,1	77	390296,1	97	390313,5	117	390313,5	137	390313,5
18	384801	38	385823,8	58	390296,1	78	390296,1	98	390313,5	118	390313,5	138	390313,5
19	384801	39	385823,8	59	390296,1	79	390296,1	99	390313,5	119	390313,5	139	390313,5
20	385823,8	40	385823,8	60	390296,1	80	390296,1	100	390313,5	120	390313,5	140	390313,5

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
141	390313,5	161	390313,5	181	390313,5	201	390313,5	221	390313,5	241	390313,5	261	390313,5
142	390313,5	162	390313,5	182	390313,5	202	390313,5	222	390313,5	242	390313,5	262	390313,5
143	390313,5	163	390313,5	183	390313,5	203	390313,5	223	390313,5	243	390313,5	263	390313,5
144	390313,5	164	390313,5	184	390313,5	204	390313,5	224	390313,5	244	390313,5	264	390313,5
145	390313,5	165	390313,5	185	390313,5	205	390313,5	225	390313,5	245	390313,5	265	390313,5
146	390313,5	166	390313,5	186	390313,5	206	390313,5	226	390313,5	246	390313,5	266	390313,5
147	390313,5	167	390313,5	187	390313,5	207	390313,5	227	390313,5	247	390313,5	267	390313,5
148	390313,5	168	390313,5	188	390313,5	208	390313,5	228	390313,5	248	390313,5	268	390313,5
149	390313,5	169	390313,5	189	390313,5	209	390313,5	229	390313,5	249	390313,5	269	390313,5
150	390313,5	170	390313,5	190	390313,5	210	390313,5	230	390313,5	250	390313,5	270	390589,9
151	390313,5	171	390313,5	191	390313,5	211	390313,5	231	390313,5	251	390313,5	271	390589,9
152	390313,5	172	390313,5	192	390313,5	212	390313,5	232	390313,5	252	390313,5	272	390589,9
153	390313,5	173	390313,5	193	390313,5	213	390313,5	233	390313,5	253	390313,5	273	390589,9
154	390313,5	174	390313,5	194	390313,5	214	390313,5	234	390313,5	254	390313,5	274	390589,9
155	390313,5	175	390313,5	195	390313,5	215	390313,5	235	390313,5	255	390313,5	275	390589,9
156	390313,5	176	390313,5	196	390313,5	216	390313,5	236	390313,5	256	390313,5	276	390589,9
157	390313,5	177	390313,5	197	390313,5	217	390313,5	237	390313,5	257	390313,5	277	390589,9
158	390313,5	178	390313,5	198	390313,5	218	390313,5	238	390313,5	258	390313,5	278	390589,9
159	390313,5	179	390313,5	199	390313,5	219	390313,5	239	390313,5	259	390313,5	279	390589,9
160	390313,5	180	390313,5	200	390313,5	220	390313,5	240	390313,5	260	390313,5	280	390589,9

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
281	390589,9	301	391303,9	321	391303,9	341	391303,9	361	391632,9	381	391632,9	401	391632,9
282	390589,9	302	391303,9	322	391303,9	342	391303,9	362	391632,9	382	391632,9	402	391632,9
283	390589,9	303	391303,9	323	391303,9	343	391303,9	363	391632,9	383	391632,9	403	391632,9
284	390589,9	304	391303,9	324	391303,9	344	391303,9	364	391632,9	384	391632,9	404	391632,9
285	390589,9	305	391303,9	325	391303,9	345	391303,9	365	391632,9	385	391632,9	405	391632,9
286	390589,9	306	391303,9	326	391303,9	346	391303,9	366	391632,9	386	391632,9	406	391632,9
287	390589,9	307	391303,9	327	391303,9	347	391303,9	367	391632,9	387	391632,9	407	391632,9
288	390589,9	308	391303,9	328	391303,9	348	391303,9	368	391632,9	388	391632,9	408	391632,9
289	390589,9	309	391303,9	329	391303,9	349	391303,9	369	391632,9	389	391632,9	409	391632,9
290	390589,9	310	391303,9	330	391303,9	350	391303,9	370	391632,9	390	391632,9	410	391632,9
291	390589,9	311	391303,9	331	391303,9	351	391303,9	371	391632,9	391	391632,9	411	391632,9
292	390589,9	312	391303,9	332	391303,9	352	391303,9	372	391632,9	392	391632,9	412	391632,9
293	390589,9	313	391303,9	333	391303,9	353	391303,9	373	391632,9	393	391632,9	413	391632,9
294	390589,9	314	391303,9	334	391303,9	354	391303,9	374	391632,9	394	391632,9	414	391632,9
295	390589,9	315	391303,9	335	391303,9	355	391303,9	375	391632,9	395	391632,9	415	391632,9
296	390589,9	316	391303,9	336	391303,9	356	391303,9	376	391632,9	396	391632,9	416	391632,9
297	390589,9	317	391303,9	337	391303,9	357	391303,9	377	391632,9	397	391632,9	417	391632,9
298	390589,9	318	391303,9	338	391303,9	358	391303,9	378	391632,9	398	391632,9	418	391632,9
299	390589,9	319	391303,9	339	391303,9	359	391632,9	379	391632,9	399	391632,9	419	391632,9
300	390589,9	320	391303,9	340	391303,9	360	391632,9	380	391632,9	400	391632,9	420	391632,9

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
421	391632,9	441	391632,9	461	391650,3	481	391650,3	501	391650,3	521	391650,3	541	391650,3
422	391632,9	442	391632,9	462	391650,3	482	391650,3	502	391650,3	522	391650,3	542	391650,3
423	391632,9	443	391632,9	463	391650,3	483	391650,3	503	391650,3	523	391650,3	543	391650,3
424	391632,9	444	391632,9	464	391650,3	484	391650,3	504	391650,3	524	391650,3	544	391650,3
425	391632,9	445	391632,9	465	391650,3	485	391650,3	505	391650,3	525	391650,3	545	391650,3
426	391632,9	446	391632,9	466	391650,3	486	391650,3	506	391650,3	526	391650,3	546	391650,3
427	391632,9	447	391632,9	467	391650,3	487	391650,3	507	391650,3	527	391650,3	547	391650,3
428	391632,9	448	391632,9	468	391650,3	488	391650,3	508	391650,3	528	391650,3	548	391650,3
429	391632,9	449	391632,9	469	391650,3	489	391650,3	509	391650,3	529	391650,3	549	391650,3
430	391632,9	450	391632,9	470	391650,3	490	391650,3	510	391650,3	530	391650,3	550	391650,3
431	391632,9	451	391632,9	471	391650,3	491	391650,3	511	391650,3	531	391650,3	551	391650,3
432	391632,9	452	391632,9	472	391650,3	492	391650,3	512	391650,3	532	391650,3	552	391650,3
433	391632,9	453	391632,9	473	391650,3	493	391650,3	513	391650,3	533	391650,3	553	391650,3
434	391632,9	454	391632,9	474	391650,3	494	391650,3	514	391650,3	534	391650,3	554	391650,3
435	391632,9	455	391632,9	475	391650,3	495	391650,3	515	391650,3	535	391650,3	555	391650,3
436	391632,9	456	391650,3	476	391650,3	496	391650,3	516	391650,3	536	391650,3	556	391650,3
437	391632,9	457	391650,3	477	391650,3	497	391650,3	517	391650,3	537	391650,3	557	391896,4
438	391632,9	458	391650,3	478	391650,3	498	391650,3	518	391650,3	538	391650,3	558	391896,4
439	391632,9	459	391650,3	479	391650,3	499	391650,3	519	391650,3	539	391650,3	559	391896,4
440	391632,9	460	391650,3	480	391650,3	500	391650,3	520	391650,3	540	391650,3	560	391896,4



<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
561	391896,4	581	391896,4	601	391896,4	621	391896,4	641	391896,4	661	391896,4	681	391896,4
562	391896,4	582	391896,4	602	391896,4	622	391896,4	642	391896,4	662	391896,4	682	391896,4
563	391896,4	583	391896,4	603	391896,4	623	391896,4	643	391896,4	663	391896,4	683	391896,4
564	391896,4	584	391896,4	604	391896,4	624	391896,4	644	391896,4	664	391896,4	684	391896,4
565	391896,4	585	391896,4	605	391896,4	625	391896,4	645	391896,4	665	391896,4	685	391896,4
566	391896,4	586	391896,4	606	391896,4	626	391896,4	646	391896,4	666	391896,4	686	391896,4
567	391896,4	587	391896,4	607	391896,4	627	391896,4	647	391896,4	667	391896,4	687	391896,4
568	391896,4	588	391896,4	608	391896,4	628	391896,4	648	391896,4	668	391896,4	688	391896,4
569	391896,4	589	391896,4	609	391896,4	629	391896,4	649	391896,4	669	391896,4	689	391896,4
570	391896,4	590	391896,4	610	391896,4	630	391896,4	650	391896,4	670	391896,4	690	391896,4
571	391896,4	591	391896,4	611	391896,4	631	391896,4	651	391896,4	671	391896,4	691	391896,4
572	391896,4	592	391896,4	612	391896,4	632	391896,4	652	391896,4	672	391896,4	692	391896,4
573	391896,4	593	391896,4	613	391896,4	633	391896,4	653	391896,4	673	391896,4	693	391896,4
574	391896,4	594	391896,4	614	391896,4	634	391896,4	654	391896,4	674	391896,4	694	391896,4
575	391896,4	595	391896,4	615	391896,4	635	391896,4	655	391896,4	675	391896,4	695	391896,4
576	391896,4	596	391896,4	616	391896,4	636	391896,4	656	391896,4	676	391896,4	696	391896,4
577	391896,4	597	391896,4	617	391896,4	637	391896,4	657	391896,4	677	391896,4	697	391896,4
578	391896,4	598	391896,4	618	391896,4	638	391896,4	658	391896,4	678	391896,4	698	391896,4
579	391896,4	599	391896,4	619	391896,4	639	391896,4	659	391896,4	679	391896,4	699	391896,4
580	391896,4	600	391896,4	620	391896,4	640	391896,4	660	391896,4	680	391896,4	700	391896,4

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
701	392129,6	721	392129,6	741	392129,6	761	392129,6	781	392129,6	801	392129,6	821	392129,6
702	392129,6	722	392129,6	742	392129,6	762	392129,6	782	392129,6	802	392129,6	822	392129,6
703	392129,6	723	392129,6	743	392129,6	763	392129,6	783	392129,6	803	392129,6	823	392129,6
704	392129,6	724	392129,6	744	392129,6	764	392129,6	784	392129,6	804	392129,6	824	392129,6
705	392129,6	725	392129,6	745	392129,6	765	392129,6	785	392129,6	805	392129,6	825	392129,6
706	392129,6	726	392129,6	746	392129,6	766	392129,6	786	392129,6	806	392129,6	826	392129,6
707	392129,6	727	392129,6	747	392129,6	767	392129,6	787	392129,6	807	392129,6	827	392129,6
708	392129,6	728	392129,6	748	392129,6	768	392129,6	788	392129,6	808	392129,6	828	392129,6
709	392129,6	729	392129,6	749	392129,6	769	392129,6	789	392129,6	809	392129,6	829	392129,6
710	392129,6	730	392129,6	750	392129,6	770	392129,6	790	392129,6	810	392129,6	830	392129,6
711	392129,6	731	392129,6	751	392129,6	771	392129,6	791	392129,6	811	392129,6	831	392129,6
712	392129,6	732	392129,6	752	392129,6	772	392129,6	792	392129,6	812	392129,6	832	392129,6
713	392129,6	733	392129,6	753	392129,6	773	392129,6	793	392129,6	813	392129,6	833	392129,6
714	392129,6	734	392129,6	754	392129,6	774	392129,6	794	392129,6	814	392129,6	834	392129,6
715	392129,6	735	392129,6	755	392129,6	775	392129,6	795	392129,6	815	392129,6	835	392129,6
716	392129,6	736	392129,6	756	392129,6	776	392129,6	796	392129,6	816	392129,6	836	392129,6
717	392129,6	737	392129,6	757	392129,6	777	392129,6	797	392129,6	817	392129,6	837	392129,6
718	392129,6	738	392129,6	758	392129,6	778	392129,6	798	392129,6	818	392129,6	838	392129,6
719	392129,6	739	392129,6	759	392129,6	779	392129,6	799	392129,6	819	392129,6	839	392129,6
720	392129,6	740	392129,6	760	392129,6	780	392129,6	800	392129,6	820	392129,6	840	392129,6

<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>	<b>Iterasi</b>	<b><i>Gbest</i></b>
841	392129,6	861	392129,6	881	392129,6	901	392129,6	921	392129,6	941	392129,6	961	392129,6	981	392129,6
842	392129,6	862	392129,6	882	392129,6	902	392129,6	922	392129,6	942	392129,6	962	392129,6	982	392129,6
843	392129,6	863	392129,6	883	392129,6	903	392129,6	923	392129,6	943	392129,6	963	392129,6	983	392129,6
844	392129,6	864	392129,6	884	392129,6	904	392129,6	924	392129,6	944	392129,6	964	392129,6	984	392129,6
845	392129,6	865	392129,6	885	392129,6	905	392129,6	925	392129,6	945	392129,6	965	392129,6	985	392129,6
846	392129,6	866	392129,6	886	392129,6	906	392129,6	926	392129,6	946	392129,6	966	392129,6	986	392129,6
847	392129,6	867	392129,6	887	392129,6	907	392129,6	927	392129,6	947	392129,6	967	392129,6	987	392129,6
848	392129,6	868	392129,6	888	392129,6	908	392129,6	928	392129,6	948	392129,6	968	392129,6	988	392129,6
849	392129,6	869	392129,6	889	392129,6	909	392129,6	929	392129,6	949	392129,6	969	392129,6	989	392129,6
850	392129,6	870	392129,6	890	392129,6	910	392129,6	930	392129,6	950	392129,6	970	392129,6	990	392129,6
851	392129,6	871	392129,6	891	392129,6	911	392129,6	931	392129,6	951	392129,6	971	392129,6	991	392129,6
852	392129,6	872	392129,6	892	392129,6	912	392129,6	932	392129,6	952	392129,6	972	392129,6	992	392129,6
853	392129,6	873	392129,6	893	392129,6	913	392129,6	933	392129,6	953	392129,6	973	392129,6	993	392129,6
854	392129,6	874	392129,6	894	392129,6	914	392129,6	934	392129,6	954	392129,6	974	392129,6	994	392129,6
855	392129,6	875	392129,6	895	392129,6	915	392129,6	935	392129,6	955	392129,6	975	392129,6	995	392129,6
856	392129,6	876	392129,6	896	392129,6	916	392129,6	936	392129,6	956	392129,6	976	392129,6	996	392129,6
857	392129,6	877	392129,6	897	392129,6	917	392129,6	937	392129,6	957	392129,6	977	392129,6	997	392129,6
858	392129,6	878	392129,6	898	392129,6	918	392129,6	938	392129,6	958	392129,6	978	392129,6	998	392129,6
859	392129,6	879	392129,6	899	392129,6	919	392129,6	939	392129,6	959	392129,6	979	392129,6	999	392129,6
860	392129,6	880	392129,6	900	392129,6	920	392129,6	940	392129,6	960	392129,6	980	392129,6	1000	392129,6