

**PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI YANG TERINTEGRASI
UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN
MODIFIKASI KOLONI SEMUT
(Studi Kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia)**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister dalam Bidang Matematika**



Oleh

**MITA AKBAR SUKMARINI
NIM. 176090400111013**

**PROGRAM STUDI MAGISTER MATEMATIKA
BIDANG MINAT MATEMATIKA INDUSTRI**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**M A L A N G
2019**





TESIS

**PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI YANG TERINTEGRASI
UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN
MODIFIKASI KOLONI SEMUT
(Studi Kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia)**

Oleh:

**MITA AKBAR SUKMARINI
NIM. 176090400111013**

Telah dipertahankan di depan Komisi Penguji
pada tanggal 18 Juni 2019
dan dinyatakan **LULUS**

Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota

Dr. Sobri Abusini, M.T
NIP. 196012071988021001

Corina Karim, S.Si.,M.Si.,Ph.D
NIP. 198302222009122002

Mengetahui:

Ketua Program Studi Magister Matematika

Dr. Noor Hidayat, M.Si.
NIP. 196112041988021001

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Tesis : **PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI YANG TERINTEGRASI UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT (Studi Kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia)**

Nama : **MITA AKBAR SUKMARINI**

NIM : **176090400111013**

Program Studi : **Magister Matematika**

Bidang Minat : **MATEMATIKA INDUSTRI**

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : **Dr. Sobri Abusini, M.T**

Anggota : **Corina Karim, S.Si.,M.Si.,Ph.D**

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : **Dra. Trisilowati, M.Sc.,Ph.D**

Dosen Penguji 2 : **Prof.Dr. Agus Widodo, M.Kes**

Tanggal Ujian : **18 Juni 2019**

SK. Penguji :

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan tesis dibatalkan.

Malang, 17 Juni 2019

Mita Akbar Sukmarini
NIM. 176090400111013



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RIWAYAT HIDUP

Penulis, Mita Akbar Sukmarini, lahir di Banyuwangi, Jawa Timur, pada tanggal 4 Mei 1995. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Suyoto dan Ibu Sri Sunarmi. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK PGRI 05 pada tahun 2001 dan menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Purwoasri, Banyuwangi pada tahun 2007. Tahun 2010, penulis lulus dari SMPN 1 Tegaldlimo, Banyuwangi. Tahun 2013, penulis lulus dari SMAN 1 Giri, Banyuwangi. Penulis menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana (S1) di Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang (UM) tahun 2017. Pada tahun itu juga, penulis melanjutkan pendidikan tingkat Magister (S2) pada Program Studi Magister Matematika Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.



RINGKASAN

MITA AKBAR SUKMARINI, Program Studi Magister Matematika Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Brawijaya, 18 Juni 2019. Penjadwalan Produksi dan Distribusi yang Terintegrasi untuk Meminimalkan Total Biaya dengan Menggunakan Modifikasi Koloni Semut (Studi Kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia). Ketua Komisi Pembimbing: Sobri Abusini, Anggota: Corina Karim.

Penelitian ini membahas tentang optimasi menggunakan modifikasi koloni semut untuk menyelesaikan penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi. Modifikasi yang dilakukan adalah penambahan dua seleksi algoritma genetika pada algoritma koloni semut, yaitu *roulette wheel selection* dan *elitism selection*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jadwal produksi dan distribusi yang optimal, sehingga dapat meminimalkan total biaya. Pada penjadwalan produksi, terdapat empat *job* yang akan dijadwalkan pada empat mesin, sedangkan pada penjadwalan distribusi, terdapat tujuh *customer* yang harus dikunjungi. Optimasi dilakukan dengan menjalankan program modifikasi koloni semut pada matlab dengan menggunakan berbagai nilai parameter. Jadwal produksi optimal yang didapatkan adalah J4–J1–J3–J2, dengan penghematan biaya dalam satu kali proses produksi sebesar Rp 177.560,00. Jadwal distribusi optimal yang didapatkan adalah PT–C3–C6–C7–C2–C1–C4–C5–PT dan PT–C5–C4–C1–C2–C7–C6–C3–PT. Dalam satu kali proses pengiriman produk, biaya distribusi menurun sampai Rp 33.250,00. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan sesuai untuk diaplikasikan pada permasalahan penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi, khususnya yang telah diteliti pada PT. Blambangan Foodpackers Indonesia. Penjadwalan menggunakan modifikasi algoritma koloni semut memberikan hasil yang baik, dimana total biaya dapat ditekan sampai 13,8% dengan penurunan total biaya sebesar Rp 210.810,00.

Kata Kunci: koloni semut, *roulette wheel selection*, *elitism selection*, penjadwalan terintegrasi.

SUMMARY

MITA AKBAR SUKMARINI, Master Mathematics Study Program Mathematics Department Faculty of Natural Sciences University of Brawijaya, 18 Juni 2019. *Integrated Production and Distribution Scheduling to Minimize Total Costs Using Modified Ants Colony (Case Study of PT. Blambangan Foodpackers Indonesia)*. Supervisor: Sobri Abusini, Co-Supervisor: Corina Karim.

This study discusses optimization using modification of ant colony optimization to solve scheduling of integrated production and distribution. The modification is done by adding two selections from the genetic algorithm on the ant colony algorithm, namely roulette wheel selection and elitism selection. The purpose of this study is to obtain an optimal production and distribution schedule, such that it can minimize the total cost. In production part, there are four jobs that will be scheduled on four machines, while in distribution part, there are seven customers that must be visited. Optimization is done by running a modified ant colony program in matlab using various parameters values. Based on the experiments conducted, the optimal production schedule is J4–J1–J3–J2, with cost savings in one production process is Rp177,560.00 and the optimal schedule in distribution is PT–C3–C6–C7–C2–C1–C4–C5–PT and PT–C5–C4–C1–C2–C7–C6–C3–PT. In one product delivery process, distribution costs decrease to Rp33,250.00. The results of this study show that the proposed method is suitable for applied to solve integrated production and distribution scheduling problems, especially that have been studied at PT. Blambangan Foodpackers Indonesia. Scheduling using modified ant colony algorithm gives good results, where total costs can be reduced to 13.8% with total reduction costs is Rp 210,810.00.

Keywords: ant colony optimization, roulette wheel selection, elitism selection, integrated scheduling.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis panjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyajikan tesis yang berjudul:

Penjadwalan Produksi dan Distribusi yang Terintegrasi untuk Meminimalkan Total Biaya dengan Menggunakan Modifikasi Koloni Semut (Studi Kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia).

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan program magister matematika di Universitas Brawijaya.

Keberhasilan dalam menyelesaikan tesis ini tidak lepas dari kerjasama dan dukungan dari berbagai pihak, oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Sobri Abusini, MT selaku ketua komisi pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, ide dan saran, serta motivasi kepada penulis selama pengerjaan tesis ini.
2. Corina Karim, S.Si.,M.Si.,Ph.D. selaku anggota komisi pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, ide dan saran, serta motivasi kepada penulis selama pengerjaan tesis ini.
3. Dra. Trisilowati, M.Sc.,Ph.D. selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun selama penyusunan tesis ini.
4. Prof.Dr. Agus Widodo, M.Kes. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun selama penyusunan tesis ini.
5. Dr. Noor Hidayat, M.Si., selaku Ketua program Studi Magister Matematika FMIPA Universitas Brawijaya.
6. Keluarga besar S2 Matematika 2017 yang telah memberikan dukungan, kerjasama, motivasi, kebersamaan, dan semangat selama ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi tentu masih ada yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak agar tulisan ini menjadi lebih baik dan bisa bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, 17 Juni 2019

Mita Akbar Sukmarini
NIM. 176090400111013



DAFTAR ISI

	Hal
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Optimasi	7
2.2 Penjadwalan Produksi	7
2.2.1 Elemen Penjadwalan Produksi	8
2.2.2 Tujuan Penjadwalan Produksi	9
2.2.3 Istilah dalam Penjadwalan Produksi	10
2.2.4 Tipe Penjadwalan Produksi	11
2.2.5 Gantt Chart	14
2.3 Penjadwalan Distribusi	15
2.3.1 <i>Traveling Salesman Problem</i>	16
2.3.2 <i>Vehicle Routing Problem</i>	18
2.4 Total Biaya	18
2.5 Graf	20
2.6 Peluang	22
2.7 Metode Koloni Semut	23
2.7.1 <i>Pheromone</i>	24
2.7.2 <i>Artificial Ant</i>	25
2.7.3 Cara Kerja Semut Mencari Jalur Optimal	26
2.7.4 Algoritma Koloni Semut untuk <i>Scheduling Problem</i>	27
2.7.5 Algoritma Koloni Semut untuk <i>Routing Problem</i>	29
2.7.6 Modifikasi Algoritma Koloni Semut	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Metode Pengumpulan Data	33



3.2	Jenis Data	34
3.3	Rancangan Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Proses Produksi	37
4.2	Data Produksi	39
4.3	Penjadwalan Produksi	40
4.4	Modifikasi Algoritma Koloni Semut untuk Scheduling Problem	41
4.5	Penjadwalan Produksi menggunakan Modifikasi Algoritma Koloni Semut	44
4.5.1	Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan produksi secara manual	44
4.5.2	Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan produksi dengan menggunakan program	63
4.6	Proses Distribusi	70
4.7	Data Distribusi	71
4.8	Penjadwalan Distribusi	73
4.9	Modifikasi Algoritma Koloni Semut untuk Routing Problem	74
4.10	Penjadwalan Distribusi menggunakan Modifikasi Algoritma Koloni Semut	76
4.10.1	Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan distribusi secara manual	76
4.10.2	Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan distribusi dengan menggunakan program	87
4.11	Total Biaya Produksi dan Distribusi	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		96
5.1	Proses Produksi	96
5.2	Data Produksi	96
DAFTAR PUSTAKA		98
LAMPIRAN		103

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Contoh waktu proses pada penjadwalan <i>flowshop</i>	13
Tabel 2.2 Contoh waktu proses pada penjadwalan <i>jobshop</i>	14
Tabel 4.1 Waktu proses empat <i>job</i> pada empat mesin (dalam menit)	39
Tabel 4.2 Daftar kemungkinan urutan <i>job</i>	41
Tabel 4.3 Waktu proses empat <i>job</i> pada empat mesin (dalam menit)	45
Tabel 4.4 Nilai <i>visibility</i>	45
Tabel 4.5 Nilai <i>pheromone</i> di setiap jalur	45
Tabel 4.6 Hasil <i>update pheromone</i> iterasi 1	62
Tabel 4.7 Waktu proses empat <i>job</i> pada empat mesin (dalam menit)	63
Tabel 4.8 Nilai <i>visibility</i> empat mesin	63
Tabel 4.9 Perbandingan jadwal produksi sebelum dan sesudah optimasi	69
Tabel 4.10 Produktivitas mesin sebelum dan sesudah optimasi	70
Tabel 4.11 Lokasi 16 customer di Banyuwangi	71
Tabel 4.12 Lokasi 7 customer di Banyuwangi	72
Tabel 4.13 Jarak antar lokasi (dalam kilometer)	73
Tabel 4.14 Jarak antar lokasi yang dijadwalkan	77
Tabel 4.15 Nilai <i>visibility</i> delapan lokasi	77
Tabel 4.16 Nilai awal <i>pheromone</i> di setiap jalur	77
Tabel 4.17 Nilai akhir <i>pheromone</i> di setiap jalur	87
Tabel 4.18 Jarak antar lokasi yang dijadwalkan	87
Tabel 4.19 Nilai <i>visibility</i> delapan lokasi	88
Tabel 4.20 Perbandingan jadwal distribusi sebelum dan sesudah optimasi	93
Tabel 4.21 Perbandingan total biaya sebelum dan sesudah optimasi	94

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Pola aliran <i>pure flowshop</i>	11
Gambar 2.2 Pola aliran <i>general flowshop</i>	12
Gambar 2.3 Pola aliran <i>job shop</i>	12
Gambar 2.4 aliran kerja <i>pure flowshop</i>	13
Gambar 2.5 aliran kerja <i>general flowshop</i>	13
Gambar 2.6 aliran kerja <i>jobshop</i>	14
Gambar 2.7 contoh <i>gantt chart</i>	15
Gambar 2.8 Graf berbobot dan tak berarah	17
Gambar 2.9 Simulasi koloni semut dalam menentukan jalur terpendek	26
Gambar 2.10 <i>Roulette wheel selection</i>	32
Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian	36
Gambar 4.1 <i>Flow chart</i> proses produksi sarden	37
Gambar 4.2 <i>Gantt chart</i> jadwal produksi J1-J2-J3-J4	39
Gambar 4.3 Pola aliran <i>job</i> pada mesin	40
Gambar 4.4 Graf <i>job</i> produksi	40
Gambar 4.5 <i>Roulettee wheel selection</i> untuk penjadwalan produksi	41
Gambar 4.6 <i>Roulettee wheel</i> mesin 1 pemilihan ke-1	46
Gambar 4.7 <i>Roulettee wheel</i> mesin 1 pemilihan ke-2	47
Gambar 4.8 <i>Roulettee wheel</i> mesin 1 pemilihan ke-3	48
Gambar 4.9 <i>Roulettee wheel</i> mesin 2 pemilihan ke-1	49
Gambar 4.10 <i>Roulettee wheel</i> mesin 2 pemilihan ke-2	50
Gambar 4.11 <i>Roulettee wheel</i> mesin 2 pemilihan ke-3	51
Gambar 4.12 <i>Roulettee wheel</i> mesin 3 pemilihan ke-1	53
Gambar 4.13 <i>Roulettee wheel</i> mesin 3 pemilihan ke-2	54
Gambar 4.14 <i>Roulettee wheel</i> mesin 3 pemilihan ke-3	54
Gambar 4.15 <i>Roulettee wheel</i> mesin 4 pemilihan ke-1	56
Gambar 4.16 <i>Roulettee wheel</i> mesin 4 pemilihan ke-2	57
Gambar 4.17 <i>Roulettee wheel</i> mesin 4 pemilihan ke-3	58
Gambar 4.18 Perhitungan total waktu produksi mesin 1	59
Gambar 4.19 Perhitungan total waktu produksi mesin 2	59
Gambar 4.20 Perhitungan total waktu produksi mesin 3	60
Gambar 4.21 Perhitungan total waktu produksi mesin 4	60
Gambar 4.22 Percobaan ke-1 penjadwalan produksi	64
Gambar 4.23 Percobaan ke-2 penjadwalan produksi	66
Gambar 4.24 Percobaan ke-3 penjadwalan produksi	67
Gambar 4.25 <i>Gantt chart</i> jadwal produksi J4-J1-J3-J2	69
Gambar 4.26 Peta Kabupaten Banyuwangi	70
Gambar 4.27 Lokasi 16 <i>customer</i>	71
Gambar 4.28 Lokasi 7 <i>customer</i>	72
Gambar 4.29 Graf rute distribusi	73
Gambar 4.30 <i>Roulettee wheel selection</i> untuk penjadwalan distribusi	75

Gambar 4.31 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-1	79
Gambar 4.32 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-2	80
Gambar 4.33 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-3	81
Gambar 4.34 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-4	82
Gambar 4.35 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-5	83
Gambar 4.36 <i>Roulettee wheel</i> pemilihan lokasi ke-6	84
Gambar 4.37 Percobaan ke-1 penjadwalan distribusi	89
Gambar 4.38 Percobaan ke-2 penjadwalan distribusi	91
Gambar 4.39 Percobaan ke-3 penjadwalan distribusi	92
Gambar 4.40 Rute distribusi setelah optimasi	94



DAFTAR SIMBOL

- t_{ij} : waktu proses *job i* pada mesin *j*
- J_i : *job* ke *i*
- M_i : mesin ke *i*
- O_{ij} : operasi *job* ke *i* pada mesin *j*
- C_j : *completion time job j*
- d_{ij} : jarak lokasi *i* ke lokasi *j*
- P_{ij}^k : peluang semut-*k* dari titik *i* menuju titik *j*
- R : total waktu produksi
- RC : biaya produksi
- D : jarak tempuh distribusi
- DC : biaya distribusi
- TC : total biaya
- τ_{ij} : intensitas *pheromone*
- α : tetapan pengendali intensitas *pheromone*
- β : tetapan pengendali *visibility*
- η_{ij} : *visibility*
- ρ : tingkat evaporasi *pheromone*
- k : jumlah semut
- C_{max} : jumlah iterasi
- S_k : tabu list untuk semut *k*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan bisnis di era globalisasi saat ini membuat perusahaan di Indonesia berkompetisi secara ketat. Persaingan industri yang terjadi memengaruhi perusahaan untuk meningkatkan produktivitas dalam kegiatan produksinya. Setiap perusahaan akan menyusun kembali strategi dan taktiknya supaya dapat memenuhi segala kebutuhan konsumen terhadap suatu barang ataupun jasa.

Penjadwalan adalah aspek yang sangat penting bagi perusahaan, karena penjadwalan merupakan tahapan yang harus dilakukan sebelum memulai suatu proses dalam industri. Hal ini didukung oleh pendapat dari Schroeder (2000) yang menyebutkan bahwa penjadwalan adalah suatu petunjuk, apa saja yang harus dilakukan dan bagaimana urutannya, untuk menyelesaikan suatu pekerjaan pada waktu tertentu.

Penjadwalan produksi adalah usaha untuk mengatur proses produksi hingga mencapai produksi yang efektif dan efisien, yang pada akhirnya akan meminimumkan biaya produksi (Azmi, 2015). Selain itu, kecenderungan konsumen yang menginginkan barang dalam waktu secepat mungkin menjadi prioritas utama yang harus diperhatikan oleh perusahaan. Keterlambatan produksi dapat mengurangi kepercayaan pelanggan terhadap perusahaan. Oleh karena itu, agar dapat memenuhi permintaan dengan tepat waktu dan biaya seminim mungkin, perusahaan harus mempunyai perencanaan penjadwalan produksi yang baik.

Hal lain yang sangat berpengaruh untuk menunjang pemenuhan kebutuhan konsumen ialah pendistribusian barang. Jika terjadi keterlambatan penyaluran produk akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan, yaitu berupa

ketidakpuasan konsumen, yang berakibat pada penurunan penjualan dan loyalitas para konsumen, sehingga pendistribusian barang perlu dijadwalkan sedemikian rupa agar produk tersalurkan dengan baik, dengan biaya yang minimum. Konsumen akan merasa puas ketika produk tiba tepat waktu, berkualitas, dan harganya masih terjangkau.

Dewasa ini, penelitian tentang penjadwalan terintegrasi banyak dilakukan oleh para peneliti. Penjadwalan terintegrasi merupakan penjadwalan yang tidak hanya berkaitan dengan proses produksi, melainkan juga terkait dengan persediaan, pendistribusian, dan bagian-bagian lain dalam rantai pasok. Tujuan dari penjadwalan terintegrasi adalah untuk mendapatkan suatu optimasi yang menyeluruh.

Optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih penyelesaian yang berhubungan dengan nilai-nilai dari satu atau lebih fungsi objektif pada suatu masalah sehingga diperoleh suatu nilai yang optimal (Berlianty dan Arifin, 2010).

Optimasi diperlukan oleh suatu perusahaan guna mengoptimalkan sumberdaya yang tersedia agar dapat menghasilkan dan memasarkan produk dalam kualitas dan kuantitas yang diharapkan sehingga tujuan yang ingin dicapai oleh perusahaan dapat terpenuhi (Widodo, 2014).

Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi adalah algoritma genetika, *simulated annealing*, dan metode koloni semut. Diantara ketiga metode tersebut, metode koloni semut adalah metode yang paling sering diaplikasikan pada permasalahan optimasi. Hal ini dikarenakan, metode ini memiliki karakteristik yang unik (Dorigo dan Stutzle, 2004). Dalam metode koloni semut, digunakan suatu koloni (populasi) dari semut untuk membangun solusi dan juga setiap semut diberikan memori berupa *pheromone* untuk mengingat solusi-solusi sebelumnya.

Menurut Dorigo dan Stutzle (2004), metode koloni semut sangat tepat diaplikasikan pada permasalahan optimasi seperti pewarnaan graf, pencarian rute terpendek, dan masalah penjadwalan. Penelitian-penelitian terdahulu juga telah membuktikan metode koloni semut mampu memberikan hasil yang positif dalam menyelesaikan permasalahan optimasi.

Pada tahun 2011, Brezina dan Cickova telah melakukan penelitian yang berjudul "*Solving the Travelling Salesman Problem Using the Ant Colony Optimization*". Dalam penelitian tersebut masalah yang dibahas adalah pencarian rute terpendek dari 32 kota di Slovakia dan metode yang digunakan adalah metode koloni semut. Dalam percobaan yang dilakukan, digunakan iterasi sebanyak 1000 dan jumlah semut mulai dari 100, 1000, 5000, sampai 10000. (Brezina dan Cickova, 2011).

Pada tahun 2013, Cheng, Wang, Yang, dan Hu telah memodifikasi metode koloni semut dan menerapkannya pada masalah penjadwalan produksi. Modifikasi dilakukan untuk menghindari kesenjangan yang teramat jauh antara intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) dalam tour terbaik dengan koneksi-koneksi lain.

Modifikasi dalam penelitian tersebut adalah diterapkannya batas nilai *pheromone*, τ_{\max} dan τ_{\min} . Jika intensitas *pheromone* melebihi τ_{\max} , maka nilainya akan sama dengan τ_{\max} . Jika intensitas *pheromone* kurang dari τ_{\min} , maka nilainya akan sama dengan τ_{\min} . Koloni semut yang sudah di modifikasi tersebut digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan produksi dari 20 *job* yang dikelompokkan dalam 8 *batch* pada 3 mesin produksi (Cheng, Wang, Yang, dan Hu, 2013).

Kemudian pada tahun 2015, Cheng, Leung, dan Li melakukan penelitian dengan menggunakan kembali metode koloni semut yang telah dimodifikasi dan menerapkannya pada penjadwalan produksi yang terintegrasi dengan distribusi.

Masalah penjadwalan produksi diselesaikan dengan menggunakan metode koloni semut yang telah dimodifikasi dan masalah distribusi diselesaikan dengan *distribution algorithm*. Dalam *distribution algorithm*, distribusi dibagi menjadi beberapa bagian, sehingga membentuk himpunan distribusi $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots\}$. Misal himpunan $job J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ dan K adalah kapasitas distribusi, dimulai dari urutan job terkecil diletakkan pada d_1 sampai $d_1 \leq K$. Jika ketika j_j diletakkan pada d_1 menyebabkan $d_1 > K$, maka j_j diletakkan pada d_2 , dan seterusnya sampai semua job telah mempunyai urutan distribusi (Cheng, Leung, dan Li, 2015).

Pada tahun 2009, Yu, Yang, dan Yao melakukan penelitian dengan memodifikasi algoritma koloni semut untuk menyelesaikan *vehicle routing problem*. Modifikasi yang dilakukan adalah menambahkan operasi mutasi dari algoritma genetika pada algoritma koloni semut. Modifikasi ini bertujuan untuk menghasilkan rentang solusi lebih luas pada proses pencarian solusi dari *vehicle routing problem* dibanding menggunakan algoritma koloni semut biasa. Proses mutasi yang diterapkan adalah *reciprocal exchange mutation*. Cara kerja *reciprocal exchange mutation* adalah ketika solusi telah didapatkan dari algoritma koloni semut biasa, dipilih dua kandidat yang terdapat pada rute yang dihasilkan kemudian dua kandidat tersebut ditukar posisinya. Selanjutnya dihitung jarak tempuh dari rute baru dan dibandingkan dengan hasil jarak tempuh dari rute lama. Jarak tempuh terpendek yang akan terpilih (Yu, Yang, dan Yao, 2009).

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian ini, dilakukan modifikasi koloni semut dengan menambahkan dua seleksi dari algoritma genetika. Dua seleksi tersebut adalah *roulette wheel selection* dan *elitism selection*. Algoritma koloni semut yang telah dimodifikasi akan diterapkan pada penjadwalan produksi maupun penjadwalan distribusi. Penelitian ini akan dilakukan di PT. Blambangan Foodpackers Indonesia (PT. BFPI), yang bergerak

dalam industri pengolahan ikan hasil tangkapan laut. Salah satu bisnis yang dijalankan perusahaan ini adalah pengalengan ikan sardines dan tuna. Produk hasil produksi akan didistribusikan ke wilayah Banyuwangi dan sekitarnya.

Berdasarkan latar belakang di atas, judul dari penelitian ini adalah **Penjadwalan Produksi dan Distribusi yang Terintegrasi untuk Meminimalkan Total Biaya dengan Menggunakan Modifikasi Koloni Semut (Studi kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia).**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana penjadwalan produksi dengan menggunakan modifikasi algoritma koloni semut?
2. Bagaimana penjadwalan distribusi dengan menggunakan modifikasi algoritma koloni semut?
3. Bagaimana efektifitas modifikasi algoritma koloni semut untuk meminimalkan total biaya pada penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan jadwal produksi optimal dengan menggunakan modifikasi algoritma koloni semut.
2. Menentukan jadwal distribusi optimal dengan menggunakan modifikasi algoritma koloni semut.
3. Menentukan keefektifan modifikasi algoritma koloni semut untuk meminimalkan total biaya pada penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode modifikasi koloni semut digunakan untuk menentukan jadwal produksi dan jadwal distribusi pada PT. Blambangan Foodpackers Indonesia.
2. Pada proses produksi, terdapat empat *job* yang dijadwalkan pada empat mesin. Keempat mesin produksi diasumsikan memiliki performa yang baik dan berjalan lancar selama proses produksi berlangsung.
3. Pada proses distribusi, terdapat tujuh *customer* yang harus dikunjungi. Diasumsikan tidak ada kendala selama proses distribusi berlangsung.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimasi

Menurut Berlianty dan Arifin (2010), optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih penyelesaian yang berhubungan dengan nilai-nilai dari satu atau lebih fungsi objektif pada suatu masalah sehingga diperoleh suatu nilai yang optimal.

Optimasi diperlukan oleh suatu perusahaan untuk mengoptimalkan sumberdaya yang ada agar dapat menghasilkan dan memasarkan produk dalam kualitas dan kuantitas yang diharapkan sehingga tujuan yang ingin dicapai oleh perusahaan dapat terpenuhi (Widodo, 2014).

Optimasi banyak memberikan manfaat dalam pengambilan keputusan dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang. Contoh kasus yang menerapkan optimasi didalamnya antara pengoperasian mesin, penjadwalan produksi, penentuan biaya produksi, dan penentuan rute.

2.2 Penjadwalan Produksi

Menurut Husen (2009), penjadwalan atau *scheduling* merupakan pengalokasian waktu dan sumber daya yang tersedia untuk melaksanakan tugas masing-masing dalam menyelesaikan suatu proyek sedemikian sehingga tercapai hasil optimal. Penjadwalan selalu berhubungan dengan pengalokasian sumber daya yang ada pada jangka waktu tertentu, hal tersebut adalah proses pengambilan keputusan yang tujuannya adalah untuk optimalitas (Pinedo, 2002).

Dalam bidang produksi seringkali menghadapi persoalan ketika terdapat beberapa *job* yang harus diproses secara bersamaan, sedangkan jumlah mesin dan sumber daya yang dimiliki terbatas. Oleh karena itu diperlukan adanya

penjadwalan produksi untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan keterbatasan yang dimiliki.

Menurut Bedworth dan Bailey (1987), terdapat target yang ingin dicapai melalui penjadwalan produksi, yaitu jumlah *output* yang dihasilkan dan batas waktu penyelesaian yang telah ditetapkan (*due date*). Berdasarkan kedua target tersebut, terdapat beberapa kriteria penjadwalan, antara lain:

- 1) *Minimum makespan*, yaitu meminimalkan total waktu yang diperlukan dalam proses produksi.
- 2) *Minimum mean flow time*, yaitu meminimalkan rata-rata waktu yang diperlukan dalam proses produksi.
- 3) *Minimum lateness*, yaitu meminimalkan selisih antara waktu penyelesaian *job* dengan *due date*.
- 4) *Minimum tardiness*, yaitu meminimalkan keterlambatan waktu penyelesaian *job*.

2.2.1 Elemen Penjadwalan Produksi

Dalam proses produksi, terdapat tiga elemen penjadwalan (Dorigo dan Stutzle, 2004). Ketiga elemen tersebut adalah:

1) *Job*

Job dapat didefinisikan sebagai suatu tugas yang harus dikerjakan untuk mendapatkan suatu produk. Suatu *job* dapat dikerjakan oleh satu atau beberapa mesin.

2) Operasi

Pada kasus dimana *job* harus diselesaikan oleh beberapa mesin, tugas yang harus dilakukan oleh mesin dalam menyelesaikan *job* disebut operasi.

3) Mesin

Mesin merupakan sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu *job*. Semua mesin hanya memproses satu tugas pada satu waktu tertentu.

2.2.2 Tujuan Penjadwalan Produksi

Beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan, menurut Bedworth dan Bailey (1987), adalah sebagai berikut.

- 1) Mengoptimalkan sumber daya yang ada atau mengurangi waktu tunggu, sehingga total waktu produksi menurun dan produktivitas meningkat,
- 2) mengurangi pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumber daya masih menyelesaikan tugas lainnya,
- 3) mengurangi keterlambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu, sehingga dapat mengurangi denda yang harus dikeluarkan, dan
- 4) membantu pengambilan keputusan dalam hal perencanaan kapasitas pabrik.

Selain itu Baker dan Trietsch (2009) juga menjelaskan beberapa tujuan penjadwalan seperti di bawah ini.

- 1) Meningkatkan produktivitas mesin,
- 2) mengurangi pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin yang sibuk, dan
- 3) mengurangi keterlambatan karena telah melampaui batas waktu dengan cara:
 - a) mengurangi maksimum keterlambatan, dan
 - b) mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat.

Tujuan akhir dari proses penjadwalan adalah pemenuhan *due date*, yaitu produk telah selesai diproduksi dan sampai pada konsumen tanpa melewati waktu yang telah ditetapkan. Karena, dalam kenyataannya, jika terjadi keterlambatan dalam pemenuhan *due date*, maka akan dikenakan suatu denda.

Suatu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi resiko denda akibat keterlambatan adalah aturan prioritas. Aturan ini memberikan panduan urutan pekerjaan yang harus dilaksanakan. Beberapa aturan prioritas menurut Herjanto (2008) antara lain:

- 1) FCFS (*First Come First Serve*), suatu aturan yang memprioritaskan pekerjaan yang datang lebih awal, contoh penerapan aturan ini ada pada kantor pos, supermarket, bank, dan sebagainya,
- 2) SPT (*Shortest Processing Time*), yaitu pekerjaan yang membutuhkan lebih sedikit waktu penyelesaian akan dikerjakan terlebih dahulu. Aturan ini biasa diterapkan pada penyedia jasa atau pada perusahaan perakitan, dan
- 3) EDD (*Earliest Due Date*), yaitu pekerjaan yang batas waktu penyelesaiannya lebih awal akan dikerjakan terlebih dahulu. Aturan ini sering diterapkan pada perusahaan yang bergerak di bidang konveksi dan tekstil.

2.2.3 Istilah dalam Penjadwalan Produksi

Baker dan Trietsch (2009) menyebutkan beberapa istilah, yang digunakan dalam masalah penjadwalan, seperti berikut.

- 1) *Ready time* (r_j), yaitu waktu yang menunjukkan saat *job j* siap untuk dikerjakan.
- 2) *Processing time* (t_{ij}), yaitu waktu yang diperlukan untuk memproses *job i* pada mesin ke *j*.
- 3) *Waiting time* (W_j), yaitu waktu yang dilalui *job j* sebelum mulai diproses.
- 4) *Idle time*, yaitu jumlah waktu ketika mesin sudah menyala tetapi masih menunggu *job* yang akan diproses.
- 5) *Completion time* (C_j), yaitu rentang waktu dari awal *job* pertama mulai dikerjakan sampai dengan *job j* terselesaikan.
- 6) *Due date* (h_j), yaitu batas waktu penyelesaian yang ditentukan untuk *job j*.
- 7) *Lateness* (L_j), yaitu besarnya simpangan waktu penyelesaian *job j* terhadap *due date* untuk *job j*, $L_j = C_j - h_j \leq 0$, artinya *job j* diselesaikan sebelum *due date*, dan $L_j = C_j - h_j \geq 0$, artinya penyelesaian *job j* melewati *due date*.

8) *Tradiness* (T_j), yaitu besarnya keterlambatan dari *job j*, *tradiness* adalah L_j yang bernilai positif.

9) *Earliness* (e_j), yaitu L_j yang bernilai negatif.

2.2.4 Tipe Penjadwalan Produksi

Menurut Conway (2001), dalam masalah penjadwalan terdapat beberapa faktor yang memengaruhi. Berikut dijelaskan pengklasifikasian berdasarkan faktor-faktor tersebut.

1) Jumlah mesin, dalam proses produksi jumlah mesin dibedakan menjadi dua yaitu,

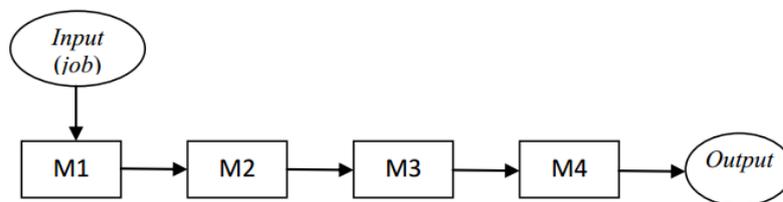
- a) mesin tunggal, dan
- b) mesin ganda.

2) Pola kedatangan *job*, dibedakan menjadi dua, yaitu,

- a) statik, semua *job* datang secara bersama dan siap dikerjakan pada mesin-mesin yang tidak sibuk, dan
- b) dinamik, *job* datang secara acak selama diadakan penjadwalan.

3) Aliran proses, dibedakan menjadi tiga, yaitu, *pure flowshop*, *general flowshop*, dan *jobshop*. Berikut akan dijelaskan masing-masing pola aliran tersebut.

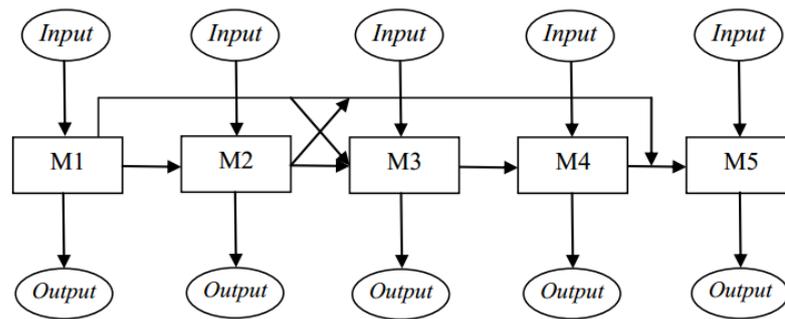
- a) *Pure flowshop*, merupakan pola aliran yang prosesnya identik. Setiap *job* melewati seluruh mesin yang bekerja, dari awal hingga proses akhir sesuai urutan.



Gambar 2.1 Pola aliran *pure flowshop*

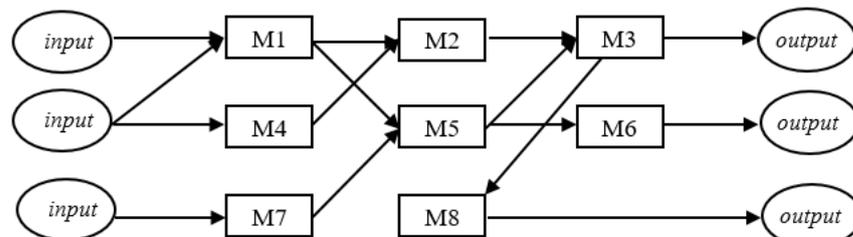
b) *General flowshop*, merupakan pola aliran yang prosesnya tidak identik.

Masing-masing *job* tidak selalu melewati seluruh mesin yang bekerja.



Gambar 2.2 Pola aliran *general flowshop*

- c) *Jobshop*, pada pola aliran ini masing-masing *job* memiliki urutan operasi yang unik. Setiap *job* bergerak dari satu mesin ke mesin lain dengan pola yang *random*.



Gambar 2.3 Pola aliran *jobshop*

Berdasarkan urutan produksi, penjadwalan produksi diklasifikasikan dalam dua tipe, yaitu penjadwalan produksi tipe *flowshop* dan penjadwalan produksi tipe *jobshop* (Utari, 2008).

1) Penjadwalan produksi tipe *flowshop*

Penjadwalan *flowshop* adalah penjadwalan dari sejumlah n *job* yang melalui proses sama persis. Ciri dari penjadwalan *flowshop* adalah adanya aliran kerja satu arah. Penjadwalan tipe *flowshop*, dibedakan menjadi dua, yaitu penjadwalan *pure flowshop* dan penjadwalan *general flowshop* (Arman, 1999).

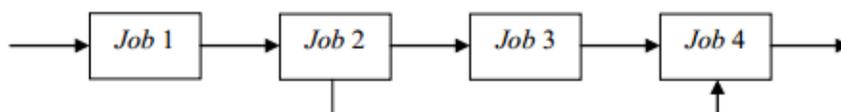
- a) Penjadwalan *pure flowshop*, suatu *job* diharuskan melalui satu kali proses untuk masing-masing tahapan. Contoh, setiap *job* menjalani proses pada mesin 1, mesin 2, mesin 3 dan seterusnya sampai proses pada mesin

terakhir. Pada Gambar 2.4 diberikan gambaran sistem produksi menggunakan *pure flowshop*.



Gambar 2.4 aliran kerja *pure flowshop*

- b) Penjadwalan *general flowshop*, dimana sebuah *job* bisa melalui seluruh mesin ataupun hanya beberapa mesin saja, asalkan lintasannya masih satu arah dan mesin yang dilalui masih berdekatan. Berikut ini adalah contoh sistem produksi dengan pola *general flowshop*.



Gambar 2.5 aliran kerja *general flowshop*

Berikut ini diberikan contoh Tabel 2.1 waktu proses pada penjadwalan tipe *flowshop*.

Tabel 2.1 Contoh waktu proses pada penjadwalan *flowshop*

Mesin Job	A	B	C
1	T1	T2	T3
2	T1	T2	T3
3	T1	T2	T3

Keterangan:

T1 : waktu proses masing-masing *job* pada mesin A.

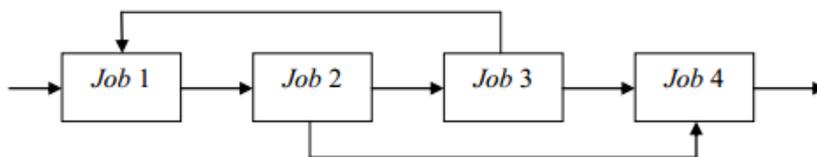
T2 : waktu proses masing-masing *job* pada mesin B.

T3 : waktu proses masing-masing *job* pada mesin C.

- 2) Penjadwalan produksi tipe *jobshop*

Penjadwalan *jobshop* adalah penjadwalan dari n *job* yang diproses pada himpunan m mesin dengan pola alir sembarang. Dalam penjadwalan ini, setiap *job* bebas dijadwalkan pada satu atau lebih mesin dengan pemrosesan sama

ataupun berbeda (Masruroh, 2012). Gambar 2.6 adalah contoh aliran kerja *jobshop* menggunakan empat mesin.



Gambar 2.6 aliran kerja *jobshop*

Berikut ini diberikan contoh Tabel 2.2 waktu proses pada penjadwalan tipe *jobshop*.

Tabel 2.2 Contoh waktu proses pada penjadwalan *jobshop*

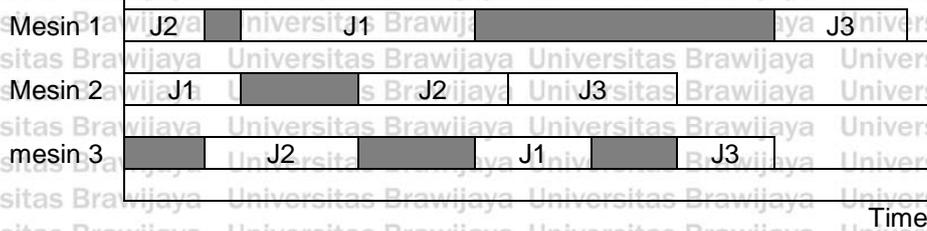
Mesin Job	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M2	M1	M3
3	M3	M2	M1

Karakteristik penjadwalan tipe *jobshop*, menurut Garrido (2000), adalah sebagai berikut.

- 1) Penjadwalan *jobshop* memiliki sejumlah *job* yang harus diselesaikan, direpresentasikan sebagai $J=\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$.
- 2) Penjadwalan *jobshop* memiliki sejumlah mesin yang digunakan untuk menyelesaikan setiap operasi, direpresentasikan sebagai $M=\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$.
- 3) Setiap *job* memiliki sejumlah operasi yang harus diselesaikan pada tenggang waktu mulai dari ready time sampai due time. Suatu *job* i memiliki sejumlah operasi yang direpresentasikan dengan $O_i = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in}\}$.

2.2.5 Gantt Chart

Dalam bentuk dasarnya, *gant chart* menggambarkan sumber daya, yang ditunjukkan pada sumbu *vertical*, dari waktu ke waktu, yang ditunjukkan pada sumbu *horizontal*, ditampilkan pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Contoh *gantt chart*

Gantt chart digunakan untuk membantu memvisualisasikan jadwal.

Dengan *gantt chart*, hubungan sumber daya dengan tugas yang dijadwalkan terlihat jelas. Dengan cara ini, *gantt chart* berfungsi sebagai bantuan untuk mengukur kinerja serta membandingkan jadwal yang didapatkan.

2.3 Penjadwalan Distribusi

Distribusi adalah proses pengiriman produk dari depot (pabrik) ke *customer* (Prihatinie, 2017). Demi mencapai keberhasilan penjualan dan juga kepuasan *customer*, masalah distribusi menjadi penting untuk dipertimbangkan. Proses distribusi erat kaitannya dengan biaya transportasi yang juga berpengaruh pada total biaya produksi. Keberhasilan suatu penjualan dapat diukur dari banyaknya permintaan atau kenaikan angka penjualan, sedangkan kepuasan *customer* dipengaruhi oleh seberapa cepat produk sampai pada *customer* dengan aman, tidak rusak, jumlah sesuai dengan permintaan, dan yang pasti dengan harga yang murah. Salah satu faktor yang memengaruhi murahnya harga penjualan suatu produk adalah biaya distribusi.

Peran penting distribusi dalam suatu perusahaan, menjadikan perlu perusahaan tersebut mempertimbangkan optimasi pada proses distribusi. Menurut Harry dan Syamsudin (2011), beberapa permasalahan yang dihadapi dalam optimasi proses distribusi adalah sebagai berikut.

1) Titik depot

Titik depot sangat menentukan kelancaran pendistribusian barang, artinya strategis atau tidaknya titik depot akan berpengaruh terhadap optimasi yang dilakukan. Titik depot yang berada di sekitar wilayah *customer* akan menyumbang hasil yang berbeda dengan titik depot yang jauh dari wilayah *customer*.

2) Rute dan jadwal pengiriman

Salah satu keputusan terpenting dalam manajemen distribusi adalah penentuan jadwal dan rute pengiriman dari perusahaan ke *customer*.

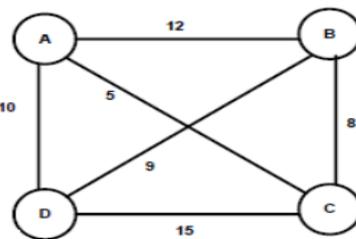
Permasalahan penjadwalan dan rute pengiriman secara umum memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai, misalnya tujuan untuk meminimalkan lama waktu pengiriman ataupun meminimalkan jarak tempuhnya, yang pada akhirnya diharapkan dapat meminimalkan biaya pengiriman.

2.3.1 *Traveling Salesman Problem (TSP)*

Menurut Dorigo dan Stutzle (2004) *Traveling Salesman Problem* adalah permasalahan seorang sales yang berangkat dari kotanya, ingin mencari *tour* terpendek yang dapat dilalui untuk mengunjungi sejumlah pelanggan di kota-kota lain, dan kemudian kembali ke kotanya. Setiap kota pelanggannya hanya dikunjungi tepat satu kali.

Secara matematis, *TSP* dapat direpresentasikan dengan *complete graph* $G = (V, E)$, dengan V adalah himpunan titik-titik yang merepresentasikan kota, dan E adalah himpunan sisi yang merepresentasikan jalan yang menghubungkan dua kota. Dalam permasalahan ini, G merupakan graf berbobot, yang menyatakan jarak antar kota, dan tak berarah. Berikut diberikan contoh graf G pada Gambar

2.8.



Gambar 2.8 Graf berbobot dan tak berarah

Misalkan titik A adalah titik depot dan titik lainnya adalah *customer* yang harus dikunjungi. Dari contoh graf G di atas, akan ditentukan banyaknya lintasan tertutup dari A ke titik-titik lainnya dan kembali lagi ke A . Terdapat 6 lintasan tertutup dari graf G , yaitu, $A - B - C - D - A$, $A - B - D - C - A$, $A - D - B - C - A$, $A - D - C - B - A$, $A - C - D - B - A$, dan $A - C - B - D - A$.

Banyaknya lintasan tertutup dari suatu *complete graph*, dengan n titik, dapat dicari dengan rumus berikut.

$$s = (n - 1)! \quad (2.1)$$

Dalam contoh di atas, G merupakan graf tak berarah, yang artinya $d(A, B) = d(B, A)$, sehingga banyaknya lintasan tertutup yang berbeda mengikuti rumus berikut.

$$s = \frac{(n - 1)!}{2} \quad (2.2)$$

Dari lintasan tertutup yang sudah ditemukan sebelumnya, diketahui bahwa $A - B - C - D - A = A - D - C - B - A$, $A - C - B - D - A = A - D - B - C - A$, dan $A - C - D - B - A = A - B - D - C - A$, sehingga pada contoh di atas terdapat 3 lintasan yang total jaraknya berbeda.

Secara umum, karakteristik dari *TSP* adalah sebagai berikut (Simarmata, 2018).

- 1) Perjalanan berawal dan berakhir pada satu titik yang sama, yaitu titik depot.
- 2) Titik selain titik depot, yang berarti *customer*, semua dikunjungi tepat satu kali.

3) *Salesman* tidak boleh kembali ke titik depot sebelum semua *customer* dikunjungi.

4) Tujuan dari permasalahan ini adalah meminimalkan total jarak yang ditempuh *salesman* dengan mengatur urutan *customer* yang harus dikunjungi.

2.3.2 Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle routing problem merupakan masalah penentuan rute yang berperan penting dalam dunia industri, yaitu pada masalah manajemen distribusi dan transportasi. Yeun, Ismail, Omar, dan Zirour (2008) mendefinisikan VRP sebagai permasalahan penentuan rute yang optimal dalam pendistribusian produk dari satu atau lebih titik depot ke sejumlah *customer* dengan permintaan yang telah diketahui. Solusi dari VRP adalah sejumlah rute pengiriman dimana kendaraan berangkat dari depot lalu menuju ke sejumlah *customer* dan kembali lagi ke depot (Indra, Susi, dan Hari, 2014).

Secara umum, karakteristik dari VRP adalah sebagai berikut (Toth dan Vigo, 2002).

- 1) Perjalanan kendaraan berawal dan berakhir di depot.
- 2) Terdapat sejumlah tempat yang semuanya harus dikunjungi tepat satu kali.
- 3) Jika kapasitas kendaraan sudah terpakai dan tidak dapat melayani titik berikutnya, kendaraan dapat kembali ke depot untuk memenuhi kapasitas kendaraan dan melanjutkan perjalanan ke tempat yang belum dikunjungi.
- 4) Tujuan dari permasalahan ini adalah meminimumkan total jarak yang ditempuh kendaraan dengan mengatur urutan titik yang harus dikunjungi beserta kapan kembalinya kendaraan untuk mengisi kapasitasnya lagi.

2.4 Total Biaya

Pada proses produksi, mesin adalah alat yang sangat dibutuhkan. Penggunaan mesin produksi mungkin dapat menambah biaya yang dikeluarkan,

karena energi yang dibutuhkan oleh mesin produksi sangatlah besar dibandingkan dengan alat elektronik lainnya, sehingga meminimalkan total waktu produksi efektif untuk mengurangi biaya produksi.

Pada suatu himpunan $job J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$, *completion time* dari J_k , job ke k , disimbolkan dengan C_k , sehingga total waktu produksi (makespan) dirumuskan sebagai berikut,

$$R = \max\{C_1, C_2, \dots, C_n\}. \quad (2.3)$$

Jika dimisalkan biaya produksi per satuan waktu adalah sebesar b_1 rupiah, maka biaya yang harus dikeluarkan untuk memproduksi himpunan $job J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$RC = b_1 \cdot \max\{C_1, C_2, \dots, C_n\}. \quad (2.4)$$

Pada proses distribusi, jarak yang ditempuh sangat memengaruhi biaya yang dikeluarkan. Semakin panjang jarak yang ditempuh semakin tinggi biaya yang harus dikeluarkan, begitupun sebaliknya, semakin pendek jarak yang ditempuh, semakin sedikit biaya yang harus dikeluarkan, sehingga pencarian rute terpendek sangat efektif untuk mengurangi biaya distribusi.

Jika himpunan pelanggan yang harus dikunjungi disimbolkan dengan $V = \{1, 2, 3, \dots, v\}$ dan d_{ij} merupakan jarak dari pelanggan i ke pelanggan j , maka jarak yang ditempuh pada proses distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$D = \sum_{i=1}^{v-1} d_{\pi(i)\pi(i+1)} + d_{\pi(v)\pi(1)}. \quad (2.5)$$

Jika dimisalkan biaya distribusi per satuan jarak adalah sebesar b_2 rupiah, maka biaya yang harus dikeluarkan untuk mendistribusikan barang ke himpunan pelanggan $V = \{1, 2, 3, \dots, v\}$ dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$DC = b_2 \left(\sum_{i=1}^{v-1} d_{\pi(i)\pi(i+1)} + d_{\pi(v)\pi(1)} \right). \quad (2.6)$$

Dari kedua kondisi diatas, didapatkan TC , total biaya produksi dan distribusi yang dirumuskan sebagai berikut.

$$TC = RC + DC, \quad (2.7)$$

$$TC = b_1 \cdot \max\{C_1, C_2, \dots, C_n\} + b_2 \left(\sum_{v_i=1}^{v_{x-1}} d_{\pi(i)\pi(i+1)} + d_{\pi(v)\pi(1)} \right). \quad (2.8)$$

2.5 Graf (Graph)

Graf G merupakan pasangan himpunan (V, E) , ditulis dengan notasi $G = (V, E)$. V adalah suatu himpunan tak kosong dari titik-titik (*vertices*) dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan sepasang titik.

Himpunan titik dari graf G ditulis dengan $V(G)$, sedangkan himpunan dari sisi graf G ditulis dengan $E(G)$. titik pada graf dapat dinomori dengan huruf (a, b, c, \dots) atau dengan bilangan asli ($1, 2, 3, \dots$). Sisi yang menghubungkan titik u dan v dapat dinyatakan dengan pasangan (u, v) atau dengan lambang $e_1, e_2, e_3, \dots, dst.$

Berikut ini adalah definisi-definisi yang berkaitan dengan graf, menurut Aldous dan Wilson (2003).

Definisi 2.5.1

Suatu graf G adalah pasangan himpunan $(V(G), E(G))$ dengan $V(G)$ adalah himpunan tak kosong dari titik-titik dan $E(G)$ adalah himpunan berhingga (boleh kosong) dari garis atau sisi.

Definisi 2.5.2

Sebuah sisi di dalam graf dikatakan loop jika sisi tersebut menghubungkan titik yang sama. Dengan kata lain, e_1 adalah loop, jika $e_1 = (v, v)$. Jika dua sisi atau lebih menghubungkan dua titik yang sama, maka sisi tersebut dinamakan *multiple edges* atau *parallel edges*.

Sebuah graf yang tidak memiliki loop dan *multiple edges* disebut sebagai graf sederhana (*simple graph*).

Definisi 2.5.3

Graf G dikatakan graf lengkap jika setiap titik terhubung dengan titik yang lain tepat oleh satu sisi. Graf lengkap dengan n buah titik dilambangkan dengan

K_n . Jumlah sisi graf lengkap dari n buah titik adalah $\frac{n(n-1)}{2}$.

Definisi 2.5.4

Perjalanan (*walk*) sepanjang k pada graf adalah serangkaian k sisi dari suatu graf dengan bentuk uv, vw, wx, \dots, yz . Perjalanan tersebut dinotasikan dengan $uvw \dots yz$.

Definisi 2.5.5

Lintasan (*path*) merupakan sebuah perjalanan (*walk*) dengan semua titik dan sisinya berbeda.

Definisi 2.5.6

Graf tak berarah G disebut sebagai graf terhubung (*connected graph*) jika terdapat lintasan (*path*) untuk setiap pasang titik di dalam himpunan V . Jika tidak, maka G disebut sebagai graf tak terhubung (*disconnected graph*).

Definisi 2.5.7

Graf berbobot (*weighted graph*) G adalah graf yang mempunyai fungsi bobot w . Bobot dari sisi a disebut $w(a)$ dan w adalah bilangan asli.

Dalam pembahasan metode koloni semut, lingkungan yang digunakan adalah sebuah graf lengkap dan bidirectional (setiap jalur bisa ditempuh dua arah).

Setiap sisi memiliki bobot yang menunjukkan nilai antara dua titik yang dihubungkan oleh sisi tersebut. Setiap semut dalam suatu koloni akan mencari rute dari titik awal keberangkatan dan ke titik akhir yang sudah ditentukan, hingga pada akhirnya koloni tersebut menemukan rute yang optimal.

2.6 Peluang

Berikut ini adalah beberapa konsep peluang yang digunakan dalam metode koloni semut untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan produksi dan distribusi.

1) Kaidah perkalian

Dalam permasalahan penjadwalan produksi, sejumlah *job* diproses oleh beberapa mesin. Setiap mesin hanya dapat mengerjakan satu *job* pada satu waktu tertentu. Banyaknya kemungkinan urutan *job* yang harus diselesaikan dapat dihitung dengan menggunakan kaidah perkalian.

Misalkan terdapat sejumlah n *job* yang harus diselesaikan, banyaknya kemungkinan urutan *job* tersebut adalah sebagai berikut.

urutan ke 1 terdapat n kemungkinan

urutan ke 2 terdapat $(n - 1)$ kemungkinan

urutan ke 3 terdapat $(n - 2)$ kemungkinan

...

urutan ke n terdapat 1 kemungkinan

$$\text{banyak kemungkinan urutan} = n(n - 1)(n - 2) \dots 1 = n! \quad (2.9)$$

Terdapat sebanyak $n!$ kemungkinan urutan *job*. Banyaknya kemungkinan urutan tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan banyak semut yang digunakan, agar semua kemungkinan dapat dipertimbangkan.

2) Permutasi siklis

Dalam permasalahan penjadwalan distribusi, kendaraan distribusi berangkat dari suatu perusahaan, mengunjungi setiap pelanggan dan pada akhirnya kembali ke perusahaan tersebut. Banyaknya kemungkinan rute yang dapat dilalui oleh kendaraan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan konsep permutasi siklis.

Misalkan banyak pelanggan yang akan dikunjungi adalah v , maka banyaknya unsur adalah $v + 1$, kendaraan distribusi berangkat dari suatu perusahaan. Banyaknya permutasi siklis dari $v + 1$ unsur adalah seperti berikut.

$$P_{siklis}^{v+1} = ((v + 1) - 1)! = v! \quad (2.10)$$

Terdapat sebanyak $v!$ rute yang dapat dilalui kendaraan untuk mendistribusikan produk ke pelanggan. Banyaknya rute dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan banyak semut yang digunakan, agar semua kemungkinan dapat dipertimbangkan.

3) Kejadian saling bebas

Pada kejadian bersyarat $P(A|B)$, jika kejadian A tidak dipengaruhi oleh terjadinya kejadian B atau dapat ditulis sebagai $P(A|B) = P(A)$, maka dapat dinyatakan bahwa A dan B adalah dua kejadian yang saling bebas (*independent*).

Pada permasalahan penjadwalan produksi, *job* yang dikerjakan saat ini dan *job* yang akan dikerjakan selanjutnya adalah dua kejadian yang saling bebas.

Hal ini dikarenakan satu mesin hanya dapat memproses satu *job* pada satu waktu tertentu.

Pada permasalahan penjadwalan distribusi, pelanggan yang dikunjungi saat ini dan pelanggan yang akan dikunjungi selanjutnya adalah dua kejadian yang saling bebas. Hal ini dikarenakan kendaraan distribusi hanya dapat mengunjungi satu pelanggan pada satu waktu tertentu.

2.7 Metode Koloni Semut

Metode koloni semut merupakan salah satu pendekatan metaheuristik yang mampu memberikan hasil positif untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Metode koloni semut telah terbukti sesuai untuk diaplikasikan pada

permasalahan seperti, *traveling salesman*, *quadratic assignment*, *vehicle routing*, *graph coloring*, ataupun *job scheduling* (Dorigo dan Stutzle, 2004).

Pada tahun 2011, Brezina dan Cickova telah melakukan penelitian tentang penyelesaian *Travelling Salesman Problem* dengan menggunakan metode optimasi koloni semut. Dalam penelitian tersebut masalah yang dibahas adalah pencarian rute terpendek dari 32 kota di Slovakia (Brezina dan Cickova, 2011).

Pada tahun 2013, Cheng, Wang, Yang, dan Hu telah memodifikasi metode koloni semut dan menerapkannya pada masalah penjadwalan produksi. Modifikasi dalam penelitian tersebut adalah diterapkannya batas nilai *pheromone* (Cheng, Wang, Yang, dan Hu, 2013). Kemudian pada tahun 2015, Cheng, Leung, dan Li kembali melakukan penelitian dengan menggunakan metode koloni semut yang dimodifikasi dan menerapkannya pada penjadwalan produksi yang terintegrasi dengan distribusi. Masalah penjadwalan produksi diselesaikan dengan menggunakan metode koloni semut yang telah dimodifikasi dengan batas nilai *pheromone* dan masalah distribusi diselesaikan dengan *distribution algorithm* (Cheng, Leung, dan Li, 2015).

2.7.1 Pheromone

Berdasarkan Wikipedia *pheromone* berasal dari kata Yunani *phero* yang artinya pembawa dan *mone* yang memiliki makna sensasi. Jadi *pheromone* adalah sejenis zat kimia yang berperan sebagai perangsang dan memiliki daya pikat. Zat ini berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh suatu individu untuk mengenali jenisnya, individu lain, ataupun suatu kelompok. Berbeda dengan hormon, *pheromone* tersebar ke luar tubuh dan hanya memengaruhi dan dikenali oleh individu yang sejenis atau satu spesies.

Pheromone pertama kali ditemukan di Jerman oleh Adolph Butenandt. Ketika pertama kali, *pheromone* ditemukan pada serangga. Para ilmuwan awalnya melihat *pheromone* adalah sebagai parfum di dunia manusia.

Pheromone berperan penting dalam komunikasi pada serangga. Seekor semut mensekresi *pheromone* sebagai suatu tanda. Biasanya dalam keadaan yang berbahaya, ketika semut terancam oleh musuh, semut akan mensekresikan *pheromone* sebagai tanda. *Pheromone* tersebar dan mengumpulkan semut-semut yang lain.

Selain menggunakan *pheromone* sebagai penanda suatu keadaan, semut juga menggunakan *pheromone* sebagai penjejak untuk menunjukkan jalan dari sarang menuju sumber makanan dan sebaliknya. Seekor semut yang berada di depan mengeluarkan *pheromone* yang dapat dideteksi oleh semut-semut yang berada dibelakangnya.

2.7.2 Artificial Ant

Algoritma koloni semut terinspirasi dari pengamatan langsung terhadap suatu koloni semut. Semut merupakan hewan yang lebih sering hidup sebagai suatu kesatuan dalam koloninya. Suatu perilaku unik dan penting untuk ditinjau dari suatu koloni semut adalah perilaku pada saat mereka mencari makan, terutama pada bagian mereka mampu menentukan rute perjalanan untuk menghubungkan sarang dengan sumber makanan, dan juga sebaliknya.

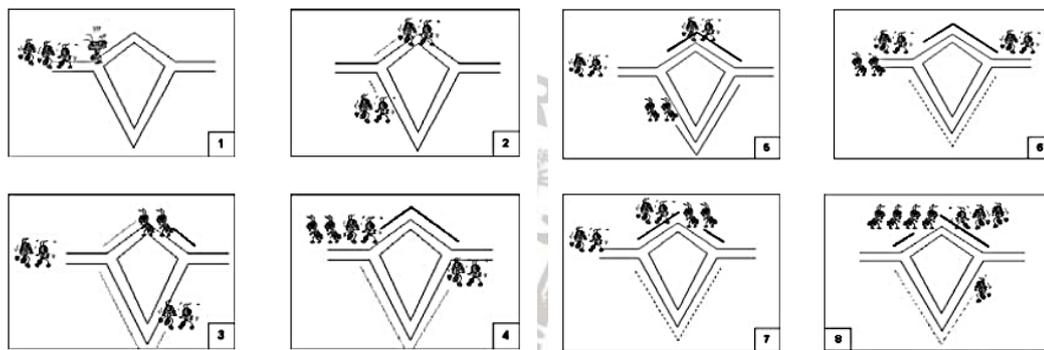
Ketika berjalan, semut meninggalkan tanda berupa zat yang disebut *pheromone*. Semut lain dapat mencium jejak tersebut, dan ketika akan memilih rute yang dilalui, semut cenderung untuk memilih rute berdasarkan tingginya konsentrasi *pheromone*.

Seiring berjalannya waktu, kadar *pheromone* akan mengalami penguapan, sehingga akan mengurangi daya tariknya. Semakin lama seekor semut melakukan perjalanan pulang pergi melalui suatu jalur, semakin tinggi pula jumlah *pheromone* yang menguap. Sebagai gambaran, sebuah jalur yang pendek akan cenderung diikuti oleh sebagian besar semut dan mereka lebih cepat sampai pada tujuan, dengan demikian kadar *pheromone* pada jalur tersebut akan tetap tinggi.

Ketika seekor semut melalui jalur terbaik (jalur terpendek) dari sarang ke sumber makanan, semut lainnya cenderung mengikuti jalur tersebut, dan pada akhirnya semua semut berjalan melalui sebuah jalur tunggal. Ide dari algoritma koloni semut adalah meniru perilaku ini melalui "semut buatan" yang berjalan di seputar grafik yang menggambarkan permasalahan yang harus diselesaikan.

Aktivitas yang dilakukan oleh semut dalam mencari makanan tersebut menjadi inspirasi munculnya algoritma koloni semut (Dorigo dan Stutzle, 2004).

2.7.3 Cara Kerja Semut Mencari Jalur Optimal



Gambar 2.9 Simulasi koloni semut dalam menentukan jalur terpendek

Pada Gambar 2.9 di atas, diberikan contoh ada dua jalur dari sarang semut ke sumber makanan, tapi salah satunya dua kali lebih panjang dari yang lain.

Semut-semut akan mulai bergerak secara *random* dari menjelajahi tanah. 50% dari koloni akan mengambil jalan yang lebih pendek, sementara 50% lainnya akan mengambil jalan yang lebih panjang dikarenakan semut belum memiliki petunjuk untuk menyimpulkan konfigurasi tanah. Semut yang mengambil jalan yang lebih pendek akan mencapai sumber makanan lebih dulu sebelum yang lain, dan tentu saja meninggalkan jejak pheromon di belakang mereka. Setelah mencapai sumber makanan, semut akan kembali ke sarang. Dalam perjalanan kembali ke sarangnya, jika semut menemukan persimpangan, semut yang membawa makanan akan memilih jalan yang sudah pernah dilalui dan menjadikan jalan

tersebut sebagai jalur semut menuju sarangnya. Semut yang memilih jalur terpendek akan terus memberikan deposito *pheromone*, karena itu jalan tersebut akan menjadi lebih menarik bagi semut-semut yang lain (Mathiyalagan, 2010).

Semut-semut yang mengambil jalan yang lebih panjang akan memiliki kemungkinan menggunakan jalur terpendek dan setelah beberapa waktu, mereka berkumpul dan terus menggunakannya. Akibatnya, semut akan menemukan jalur terpendeknya tanpa memiliki pandangan secara global tentang tanah yang ia lewati. Semut mengambil keputusan disetiap persimpangan sesuai dengan jumlah *pheromone*, sehingga sekelompok semut akan berhasil menemukan makanan, dan membawanya kembali ke sarang, dengan cara yang optimal (Mathiyalagan, 2010).

2.7.4 Algoritma Koloni Semut untuk *Scheduling Problem*

Berdasarkan adaptasi dari buku "*Metode koloni semut*" yang ditulis oleh Dorigo dan Stutzle (2004) dapat disimpulkan bahwa terdapat empat langkah dalam menerapkan algoritma koloni semut untuk *scheduling problem*, yaitu:

Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Inisialisasi parameter terdiri dari: intensitas *pheromone* $\tau_{ij}(t)$, tetapan pengendali intensitas *pheromone* (α), tetapan pengendali *visibility* (β), tingkat evaporasi *pheromone* (ρ), banyaknya semut (k).

Langkah 2: Aturan Transmisi Status

Aturan transmisi status merupakan probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j , disimbolkan dengan P , bernilai $0 \leq P_{ij}^k(t) \leq 1$. Aturan transmisi status ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \in S_k \\ 0 & , \text{jika } (i, j) \notin S_k \end{cases} \quad (2.11)$$

S_k adalah *tabu list* untuk semut k . *Tabu list* berisi daftar operasi dari setiap *job* yang harus diselesaikan pada suatu mesin, dan setiap operasi dikerjakan tepat satu kali. $S_k(i)$ adalah elemen ke i dari S_k , yaitu titik ke i yang pilih semut k pada *tour*. τ_{ij} adalah jumlah *pheromone* yang terdapat pada sisi antara titik i dan j . $\eta_{ij} = \frac{1}{t_{ij}}$ adalah nilai *visibility* yang diperoleh dari reciprocal waktu proses suatu *job* i pada mesin ke j . Nilai yang diberikan pada fungsi ini biasa disebut informasi heuristik. Jika semakin tinggi nilai $\eta_{ij}(t)$, maka akan diperoleh probabilitas yang tinggi. α adalah parameter yang mengontrol bobot relatif *pheromone*, ($0 < \alpha \leq 1$) dan β adalah parameter pengendali *visibility*, ($0 < \beta \leq 1$).

Langkah 3: Update Pheromone

Setelah satu semut telah menyelesaikan *tour*nya, kemudian *pheromone* diupdate berdasarkan *tour* yang dihasilkan satu semut tersebut. Aturan pembaruan *pheromone* lokal diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (2.12)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ adalah peluang semut yang berada di titik i akan memilih titik j , dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, & \text{jika } (i, j) \text{ adalah jalur yang dilalui} \\ 0, & \text{selainnya.} \end{cases} \quad (2.13)$$

Setelah semua semut telah menyelesaikan *tour* masing-masing, kemudian dilakukan update *pheromone* secara global. Update *pheromone* global hanya dilakukan pada *tour* yang dihasilkan oleh semut ke- k , yang memiliki total *pheromone* lokal paling tinggi dibandingkan *tour* yang lain. Aturan pembaruan *pheromone* global diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (2.14)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{R_k}, & \text{jika } (i, j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } -k \\ 0, & \text{untuk yang lainnya.} \end{cases} \quad (2.15)$$

Q merupakan suatu konstanta dan R_k adalah total waktu yang didapatkan pada *tour* yang dilalui oleh semut ke- k . Dengan pendekatan ini, hanya koneksi yang masuk dalam *tour* terbaik yang akan berpengaruh terhadap penguatan tingkat *pheromone*.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dapat dilakukan dengan melihat hasil update *pheromone* global yang terakhir. *Tour* terbaik diperoleh berdasarkan tingkat *pheromone* pada setiap jalur, jalur dengan tingkat *pheromone* tertinggi akan terpilih menjadi jalur yang optimal.

2.7.5 Algoritma Koloni Semut untuk *Routing Problem*

Berdasarkan adaptasi dari buku "*Metode koloni semut*" yang ditulis oleh Dorigo dan Stutzle (2004), dapat disimpulkan bahwa terdapat empat langkah dalam menerapkan algoritma koloni semut untuk *routing problem*, yaitu:

Langkah 1 : Inisialisasi Parameter

Inisialisasi parameter terdiri dari: intensitas *pheromone* $\tau_{ij}(t)$, tetapan pengendali intensitas *pheromone* (α), tetapan pengendali *visibility* (β), tingkat evaporasi *pheromone* (ρ), banyaknya semut (k).

Langkah 2: Aturan Transmisi Status

Aturan transmisi status merupakan probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j , disimbolkan dengan P , bernilai $0 \leq$

$P_{ij}^k(t) \leq 1$. Aturan transmisi status ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini.

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \in S_k \\ 0 & , \text{jika } (i, j) \notin S_k \end{cases} \quad (2.16)$$

S_k adalah *tabu list* untuk semut k . *Tabu list* berisi daftar pelanggan yang harus dikunjungi, dan setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali. $S_k(i)$ adalah elemen

ke i dari S_k , yaitu titik ke i yang dikunjungi semut k pada *tour*. τ_{ij} adalah jumlah

pheromone yang terdapat pada sisi antara titik i dan j . $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ adalah nilai

visibility yang diperoleh dari reciprocal jarak tempuh dari pelanggan ke- i ke

pelanggan ke- j . Nilai yang diberikan pada fungsi ini biasa disebut informasi

heuristik. Jika semakin tinggi nilai $\eta_{ij}(t)$, maka akan diperoleh probabilitas yang

tinggi. α adalah parameter yang mengontrol bobot relatif *pheromone* ($0 < \alpha \leq 1$)

dan β adalah parameter pengendali *visibility* ($0 < \beta \leq 1$).

Langkah 3: Update Pheromone

Setelah satu semut telah menyelesaikan *tour*nya, kemudian *pheromone*

diupdate berdasarkan *tour* yang dihasilkan satu semut tersebut. Aturan

pembaruan *pheromone* lokal diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (2.17)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu

t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau

koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ adalah peluang semut yang berada di

titik i akan memilih titik j , dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, & \text{jika } (i,j) \text{ adalah jalur yang dilalui} \\ 0 & \text{,selainnya.} \end{cases} \quad (2.18)$$

Setelah semua semut telah menyelesaikan *tour* masing-masing, kemudian dilakukan update *pheromone* secara global. Update *pheromone* global hanya dilakukan pada *tour* yang dihasilkan oleh semut ke- k , yang memiliki total *pheromone* lokal paling tinggi dibandingkan *tour* yang lain. Aturan pembaruan *pheromone* global diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (2.19)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i,j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{D_k}, & \text{jika } (i,j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } -k \\ 0 & \text{, untuk yang lainnya.} \end{cases} \quad (2.20)$$

Q adalah suatu konstanta dan D_k adalah total jarak yang ditempuh pada *tour* yang dilalui oleh semut ke- k . Dengan pendekatan ini, hanya koneksi yang masuk dalam *tour* terbaik yang akan berpengaruh terhadap penguatan tingkat *pheromone*.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dapat dilakukan dengan melihat hasil update *pheromone* global yang terakhir. *Tour* terbaik diperoleh berdasarkan tingkat *pheromone* pada setiap jalur, jalur dengan tingkat *pheromone* tertinggi akan terpilih menjadi jalur yang optimal.

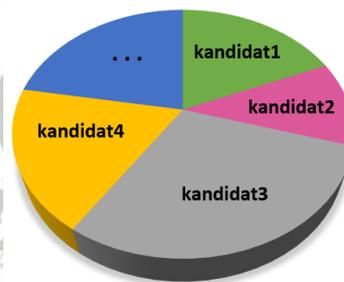
2.7.6 Modifikasi Algoritma Koloni Semut

Pada tahun 2009, Yu, Yang, dan Yao melakukan penelitian dengan memodifikasi algoritma koloni semut untuk menyelesaikan *vehicle routing problem*. Modifikasi yang dilakukan adalah menambahkan operasi mutasi dari algoritma genetika pada algoritma koloni semut (Yu, Yang, dan Yao, 2009).

Terinspirasi dari penelitian tersebut, dalam penelitian ini, dilakukan modifikasi algoritma koloni semut dengan menambahkan seleksi dari algoritma genetika.

Seleksi algoritma genetika yang ditambahkan pada penelitian ini ada dua, yaitu *roulette wheel selection* dan *elitism selection*.

Seleksi pertama yang ditambahkan adalah *roulette wheel selection*. Seleksi ini diterapkan pada saat semut belum mengetahui informasi *pheromone* di setiap jalur. Seleksi *roulette wheel* bertujuan untuk memilih kandidat tertentu berdasarkan probabilitas yang telah ditentukan dengan masih memperhitungkan kandidat-kandidat yang bukan merupakan kandidat dengan probabilitas tertinggi (Haupt dan Haupt, 2004).



Gambar 2.10 *Roulette wheel selection*

Setiap kandidat mewakili sebuah daerah pada lingkaran yang memiliki luasan tertentu. Besar daerah pada lingkaran berdasarkan suatu nilai heuristik yang ditentukan. Semakin besar nilai heuristik, semakin besar probabilitas untuk terpilih pada seleksi ini. Pilihan ini digunakan agar mengarahkan semut untuk memilih jalur potensial terbaik.

Seleksi kedua yang ditambahkan adalah *elitism selection*. Seleksi ini akan menjaga solusi terbaik dari iterasi sebelumnya sampai solusi optimal baru diperoleh (Haupt dan Haupt, 2004). Pada setiap iterasi, hasil yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil terbaik dari iterasi sebelumnya. Hasil yang lebih optimal yang akan digunakan pada iterasi berikutnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara-cara berikut.

1) Penelitian langsung di lapangan

Tujuan dari penelitian secara langsung ke perusahaan adalah untuk mendapatkan data yang mendukung proses penelitian dan dapat mengetahui permasalahan yang ada di perusahaan secara langsung. Tahap pengumpulan data dengan penelitian secara langsung dapat dilakukan dengan menerapkan kegiatan-kegiatan berikut:

a) Observasi

Pengumpulan data dilakukan dengan mencatat dan meneliti langsung di perusahaan mengenai objek penelitian.

b) Wawancara

Pengumpulan data dengan cara wawancara dapat dilakukan dengan berkomunikasi langsung dengan pihak perusahaan mengenai objek penelitian.

c) Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mempelajari data yang berhubungan dengan objek penelitian.

2) Studi literatur

Tahapan literatur dapat membantu menyelesaikan permasalahan perusahaan dengan teori-teori yang ada.

3.2 Jenis Data

Pada penelitian ini, digunakan jenis dan sumber data sebagai berikut.

1) Data primer

Data ini merupakan data yang langsung diperoleh pengumpul data dari sumber utama, tidak melalui perantara (Sugiyono (2007)). Pada penelitian ini, data yang didapatkan langsung dari perusahaan adalah berupa data jadwal produksi, jumlah pekerjaan (*job*), jumlah mesin produksi, waktu proses *job* pada mesin, biaya produksi, jadwal distribusi, jumlah kendaraan distribusi, banyaknya tujuan distribusi, jarak tempuh distribusi, dan biaya distribusi.

2) Data sekunder

Data sekunder digunakan untuk melengkapi data primer untuk memahami persoalan yang diteliti. Pada penelitian ini, data sekunder yang digunakan berupa jurnal, literatur, dan informasi lain yang berkaitan dengan permasalahan (Sugiyono, 2007).

3.3 Rancangan Penelitian

Proses dalam penelitian yang akan dilakukan tergambar dari langkah-langkah berikut.

1) Pengumpulan data

Data dan informasi dari perusahaan untuk dapat mencari solusi dari permasalahan meliputi:

- a) Jadwal produksi yang digunakan oleh perusahaan
- b) Jumlah pekerjaan (*job*)
- c) Jumlah mesin
- d) Waktu proses *job* pada mesin
- e) Biaya produksi
- f) Jadwal distribusi yang diterapkan oleh perusahaan

g) Jumlah kendaraan distribusi

h) Banyaknya tujuan distribusi

i) Jarak tempuh distribusi

j) Biaya distribusi

2) Pengolahan data

Data yang diperoleh dari perusahaan dipisahkan menjadi dua bagian, bagian pertama adalah data tentang proses produksi dan bagian kedua adalah data tentang proses distribusi. Data proses produksi meliputi, jadwal proses produksi, jumlah pekerjaan (*job*), jumlah mesin, waktu proses *job* pada mesin, dan biaya produksi. Selain itu termasuk bagian data proses distribusi.

Data jumlah pekerjaan (*job*), jumlah mesin, dan waktu proses *job* pada mesin akan diolah menggunakan teknik optimasi koloni semut untuk mendapatkan jadwal produksi yang baru. Dari jadwal tersebut akan diperoleh makespan baru, sehingga dapat dihitung biaya produksi yang diperlukan ketika jadwal ini diterapkan.

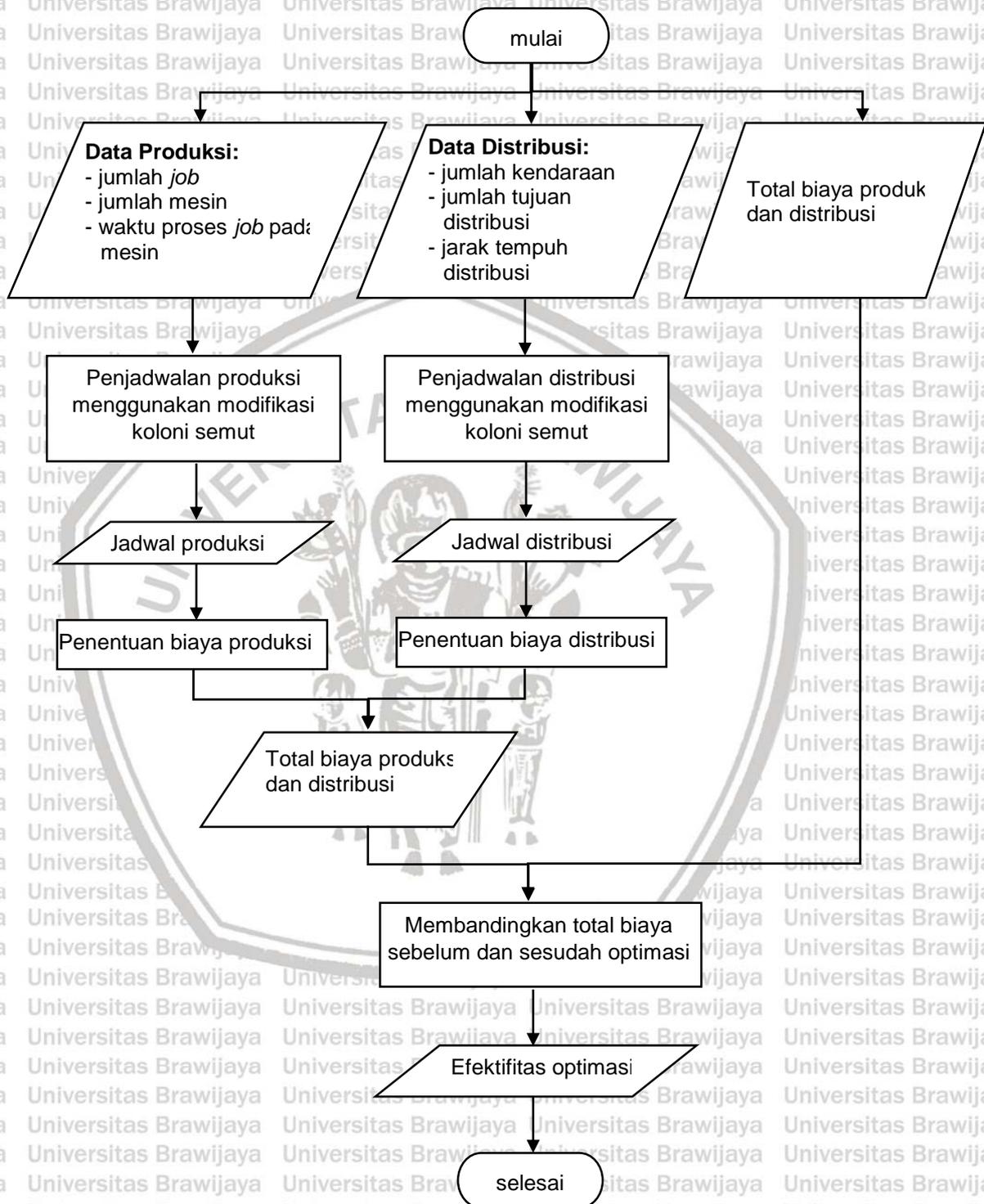
Data jumlah kendaraan distribusi, banyaknya tujuan distribusi, dan jarak tempuh distribusi akan diolah menggunakan teknik optimasi koloni semut untuk mendapatkan jadwal distribusi yang baru. Dari jadwal tersebut akan diperoleh total jarak tempuh yang baru, sehingga dapat dihitung biaya distribusi yang diperlukan ketika jadwal ini diterapkan.

Berdasarkan kedua optimasi yang dilakukan, diperoleh total biaya produksi dan distribusi baru yang akan dibandingkan dengan total biaya sebelum dilakukan optimasi.

3) Penarikan kesimpulan

Penarikan kesimpulan ditentukan berdasarkan efektifitas optimasi, yang didapatkan ketika membandingkan total biaya produksi dan distribusi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi.

Gambar 3.1 di bawah menggambarkan secara ringkas mengenai rancangan dan langkah pengerjaan penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Rancangan Penelitian

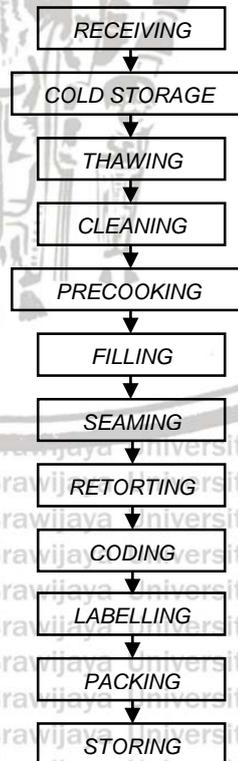
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan disajikan hasil dan pembahasan dari penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi menggunakan modifikasi algoritma koloni semut. Dari jadwal yang dihasilkan ditentukan total biaya produksi dan distribusi yang akan dibandingkan dengan total biaya yang dikeluarkan perusahaan dalam proses produksi dan distribusi sebelum dilakukan optimasi.

4.1 Proses Produksi

Proses produksi merupakan gambaran secara umum tentang prosedur yang dilakukan oleh PT. Blambangan Foodpackers Indonesia dalam pembuatan ikan sarden kaleng. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.1 Flow chart proses produksi sarden

Berdasarkan Gambar 4.1, kegiatan produksi dimulai dari pengadaan bahan baku ikan, lalu ikan tersebut disimpan (dibekukan) sampai proses selanjutnya dilakukan. Ikan yang akan diolah, dicairkan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pembersihan seperti pembuangan isi perut, pelepasan kepala, pembersihan sisik ikan, dan pengecekan kualitas ikan. Ikan-ikan yang terpilih selanjutnya akan masuk pada proses pengukusan. Ikan yang sudah dimasak akan diisikan bersama dengan media (rasa) pada kaleng yang telah disiapkan. Kaleng-kaleng yang telah terisi akan masuk pada mesin penutup kaleng dan selanjutnya dilakukan sterilisasi pada kaleng-kaleng tersebut. Setelah proses sterilisasi selesai, kaleng berisi ikan didinginkan, kemudian dilakukan pemberian kode dan label pada pada setiap kaleng, dan selanjutnya dilakukan pengemasan. Setelah semua proses selesai, produk akan disimpan dalam gudang dan siap untuk didistribusikan.

Dari semua proses di atas, terdapat beberapa proses yang diselesaikan dengan menggunakan mesin produksi dan proses lainnya dikerjakan oleh tenaga karyawan PT. Blambangan Foodpackers Indonesia. Proses produksi pertama yang diselesaikan dengan menggunakan mesin adalah *precooking* (proses pengukusan ikan), kedua adalah *filling* (pengisian ikan dan media ke dalam kaleng), ketiga adalah *seaming* (proses penutupan dan penghampaan kaleng), keempat adalah *retorting* (proses sterilisasi kaleng) agar produk aman dalam jangka waktu yang lama, dan kelima adalah *coding* (proses pemberian kode pada kaleng) yang bertujuan memudahkan identifikasi dan penelusuran produk.

Proses produksi yang diselesaikan dengan menggunakan mesin membutuhkan waktu yang berbeda-beda, tergantung dari *job* yang dikerjakan, kecuali pada mesin *precooking*. Pada proses pengukusan, ikan dengan jenis yang berbeda diproses secara terpisah. Meskipun demikian, semua jenis bahan baku diproses dalam waktu yang sama, yaitu selama 75 menit. Mesin *precooking* adalah mesin yang tidak terhubung dengan mesin lain, dapat diaktifkan dan dinonaktifkan

sesuai kebutuhan, sehingga dalam penelitian ini mesin *precooking* tidak dilibatkan dalam penjadwalan.

4.2 Data Produksi

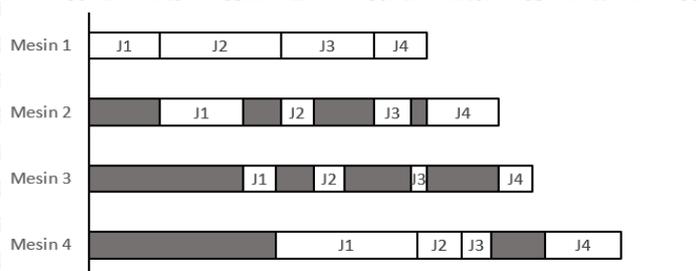
Dalam proses produksi, terdapat empat mesin yang dapat dioptimalkan waktu penggunaannya. Mesin *filling* sebagai mesin pertama (M1), mesin *seaming* sebagai mesin kedua (M2), mesin *retorting* sebagai mesin ketiga (M3), dan mesin *coding* sebagai mesin keempat (M4). Keempat mesin ini memproses *job* sesuai urutannya.

Setelah dilakukan penelitian di PT. Blambangan Foodpackers Indonesia, tercatat dalam satu hari jumlah *job* terbanyak yang masuk adalah empat *job*, sehingga dalam penelitian ini penjadwalan produksi yang dilakukan adalah menjadwalkan empat *job* pada empat mesin produksi. Data waktu penyelesaian setiap *job* pada masing-masing mesin terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Waktu proses empat *job* pada empat mesin (dalam menit)

Job	Mesin			
	M1	M2	M3	M4
J1	180	215	82	362
J2	310	84	80	115
J3	240	93	40	75
J4	135	184	85	193

Sebelum dilakukan optimasi, urutan *job* yang diselesaikan adalah J1-J2-J3-J4 dengan total waktu produksi adalah 1361 menit dan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 1.252.120,00. Aturan ini berdasarkan urutan kedatangan *job*, *job* yang tercatat lebih dulu akan dikerjakan lebih awal.



Gambar 4.2 Gantt chart jadwal produksi J1-J2-J3-J4

Gambar 4.2 adalah *gantt chart* yang menggambarkan proses kerja keempat mesin dalam menyelesaikan empat *job*. Dari Gambar 4.2, terlihat bahwa pada proses produksi *idle time* pada M2, M3, dan M4 masih tinggi, digambarkan dengan *chart* abu-abu. *Idle time* merupakan jumlah waktu ketika mesin sudah menyala tetapi masih menunggu *job* yang akan dikerjakan. Tercatat *idle time* pada M2 adalah 473 menit, pada M3 847 menit, dan pada M4 616 menit. Dalam penelitian ini dilakukan penjadwalan untuk meminimumkan total waktu produksi dan juga meningkatkan produktivitas mesin.

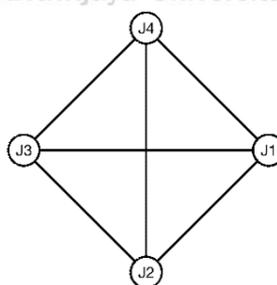
4.3 Penjadwalan Produksi

Penjadwalan produksi dalam penelitian ini adalah penjadwalan *jobshop* dari empat *job* pada empat mesin produksi, yaitu mesin *filling*, *seaming*, *retorting*, dan *coding*. Keempat *job* yang dijadwalkan diproses dengan pola aliran mesin seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pola aliran *job* pada mesin

Keempat mesin bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing untuk menyelesaikan *job* sesuai dengan urutan yang dibuat. Adanya perbedaan waktu penyelesaian setiap *job* pada masing-masing mesin, membuat setiap urutan *job* menghasilkan total waktu produksi yang berbeda-beda. Banyaknya kemungkinan urutan *job* direpresentasikan oleh graf pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Graf *job* produksi

Setiap kemungkinan urutan *job* merupakan lintasan tertutup yang dimulai dari berbagai titik pada graf. Semua kemungkinan tersebut termuat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Daftar kemungkinan urutan *job*

Kemungkinan ke	Urutan <i>job</i>
1	J1 – J2 – J3 – J4
2	J1 – J2 – J4 – J3
3	J1 – J3 – J2 – J4
4	J1 – J3 – J4 – J2
5	J1 – J4 – J2 – J3
6	J1 – J4 – J3 – J2
7	J2 – J1 – J3 – J4
8	J2 – J1 – J4 – J3
9	J2 – J3 – J1 – J4
10	J2 – J3 – J4 – J1
11	J2 – J4 – J1 – J3
12	J2 – J4 – J3 – J1
13	J3 – J1 – J2 – J4
14	J3 – J1 – J4 – J2
15	J3 – J2 – J1 – J4
16	J3 – J2 – J4 – J1
17	J3 – J4 – J1 – J2
18	J3 – J4 – J2 – J1
19	J4 – J1 – J2 – J3
20	J4 – J1 – J3 – J2
21	J4 – J2 – J1 – J3
22	J4 – J2 – J3 – J1
23	J4 – J3 – J1 – J2
24	J4 – J3 – J2 – J1

Penjadwalan produksi merupakan kegiatan pemilihan urutan *job* dari 24 kemungkinan urutan yang ada. Jadwal produksi yang optimal adalah urutan *job* dengan total waktu produksi minimum.

4.4 Modifikasi Algoritma Koloni Semut untuk *Scheduling Problem*

Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Inisialisasi parameter terdiri dari: intensitas *pheromone* $\tau_{ij}(t)$; tetapan pengendali intensitas *pheromone* (α), tetapan pengendali *visibility* (β); tingkat evaporasi *pheromone* (ρ), banyaknya semut (k).

Langkah 2: Aturan Transmisi Status

Aturan transmisi status merupakan probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j , disimbolkan dengan P , bernilai $0 \leq$

$P_{ij}^k(t) \leq 1$. Aturan transmisi status ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \in S_k \\ 0 & , \text{jika } (i, j) \notin S_k \end{cases} \quad (4.1)$$

S_k adalah *tabu list* untuk semut k . *Tabu list* berisi daftar operasi dari setiap *job*

yang harus diselesaikan pada suatu mesin, dan setiap operasi dikerjakan tepat

satu kali. $S_k(i)$ adalah elemen ke i dari S_k , yaitu titik ke i yang pilih semut k pada

tour. τ_{ij} adalah jumlah *pheromone* yang terdapat pada sisi antara titik i dan j . $\eta_{ij} =$

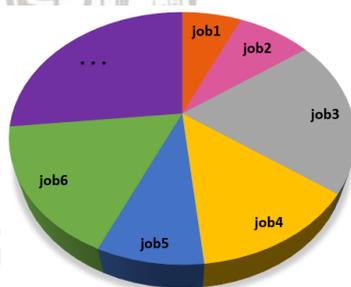
$\frac{1}{t_{ij}}$ adalah nilai *visibility* yang diperoleh dari reciprocal waktu proses suatu *job* i

pada mesin ke j . Nilai yang diberikan pada fungsi ini biasa disebut informasi

heuristik. Jika semakin tinggi nilai $\eta_{ij}(t)$, maka akan diperoleh probabilitas yang

tinggi. α adalah parameter yang mengontrol bobot relatif *pheromone*, ($0 < \alpha \leq 1$)

dan β adalah parameter pengendali *visibility*, ($0 < \beta \leq 1$).



Gambar 4.5 *Roulette wheel selection* untuk penjadwalan produksi

Selanjutnya, penentuan *job* yang akan terpilih berdasarkan seleksi roulette wheel

seperti Gambar 4.5. Semakin tinggi probabilitas suatu *job*, semakin besar daerah yang diwakili pada papan roulette wheel.

Langkah 3: Update Pheromone

Setelah satu semut telah menyelesaikan *tour*nya, kemudian *pheromone* diupdate berdasarkan *tour* yang dihasilkan satu semut tersebut. Aturan pembaruan *pheromone* lokal diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (4.2)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ adalah peluang semut yang berada di titik i akan memilih titik j , dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, & \text{jika } (i, j) \text{ adalah jalur yang dilalui} \\ 0, & \text{selainnya.} \end{cases}$$

Setelah semua semut telah menyelesaikan *tour* masing-masing, kemudian dilakukan update *pheromone* secara global. Update *pheromone* global hanya dilakukan pada *tour* yang dihasilkan oleh semut ke- k , yang memiliki total *pheromone* lokal paling tinggi dibandingkan *tour* yang lain. Aturan pembaruan *pheromone* global diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k(t). \quad (4.3)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{R_k}, & \text{jika } (i, j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } k \\ 0, & \text{untuk yang lainnya.} \end{cases}$$

Q merupakan suatu konstanta dan R_k adalah total waktu yang didapatkan pada *tour* yang dilalui oleh semut ke- k . Dengan pendekatan ini, hanya koneksi yang masuk dalam *tour* terbaik yang akan berpengaruh terhadap penguatan tingkat *pheromone*.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dilakukan dengan melihat hasil update *pheromone* global disetiap iterasi. Dalam penelitian ini, penentuan solusi terbaik berdasarkan *elitism selection*. Hasil yang diperoleh pada setiap iterasi akan dibandingkan dengan hasil dari iterasi sebelumnya. Hasil iterasi dengan total waktu produksi minimum yang akan terpilih.

4.5 Penjadwalan Produksi menggunakan Modifikasi Algoritma Koloni Semut

Dalam penjadwalan produksi, modifikasi algoritma koloni semut digunakan untuk mengoptimalkan jadwal produksi di PT. Blambangan Foodpackers Indonesia. Jadwal produksi yang optimal adalah urutan dari empat *job* yang diproses pada empat mesin yang menghasilkan total waktu produksi yang minimum.

4.5.1 Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan produksi secara manual

Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Pada perhitungan yang dilakukan dalam penjadwalan produksi, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\tau_{ij} = 2 \quad (\text{intensitas } \textit{pheromone} \text{ di setiap jalur})$$

$$\alpha = 0,1 \quad (\text{tetapan pengendali intensitas } \textit{pheromone})$$

$$\beta = 0,1 \quad (\text{tetapan pengendali } \textit{visibility})$$

$$\rho = 0,5 \quad (\text{tingkat evaporasi } \textit{pheromone})$$

$$Q = 2000 \quad (\text{konstanta})$$

$$k = 1 \quad (\text{jumlah semut yang digunakan})$$

$$C_{max} = 1 \quad (\text{maksimum iterasi})$$

Tabel 4.3 Waktu proses empat *job* pada empat mesin (dalam menit)

t_{ij}	M1	M2	M3	M4
J1	180	215	82	362
J2	310	84	80	115
J3	240	93	40	75
J4	135	184	85	193

Ket: waktu proses *job* 2 di mesin 3 adalah 80 menit

Tabel 4.4 Nilai visibility

$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{t_{ij}}$	M1	M2	M3	M4
J1	0.005556	0.004651	0.012195	0.002762
J2	0.003226	0.011905	0.0125	0.008696
J3	0.004167	0.010753	0.025	0.013333
J4	0.007407	0.005435	0.011765	0.005181

Ket: nilai visibility *job* 3 di mesin 3 adalah 0.025

Tabu list awal: 0 –

 S_k pada mesin 1 adalah $O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$ S_k pada mesin 2 adalah $O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{42}$ S_k pada mesin 3 adalah $O_{13}, O_{23}, O_{33}, O_{43}$ S_k pada mesin 4 adalah $O_{14}, O_{24}, O_{34}, O_{44}$ Ket: O_{23} adalah operasi *job* 2 di mesin 3Tabel 4.5 Nilai *pheromone* di setiap jalur

τ_{ij}	0	1	2	3	4
0	0	2	2	2	2
1	2	0	2	2	2
2	2	2	0	2	2
3	2	2	2	0	2
4	2	2	2	2	0

Langkah 2: Aturan Transmisi Status**Pada mesin 1**

Menghitung probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j berdasarkan persamaan (4.1).

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.005556)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.003226)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.004167)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.007407)^{0.1} = 2.517351$$

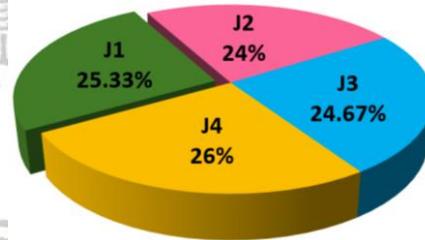
$$P_{01}^1 = \frac{0.63764}{2.517351} = 0.253298$$

$$P_{02}^1 = \frac{0.603903}{2.517351} = 0.239896$$

$$P_{03}^1 = \frac{0.619558}{2.517351} = 0.246115$$

$$P_{04}^1 = \frac{0.65625}{2.517351} = 0.260691$$

Probabilitas terbesar adalah P_{04}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-4 (J4). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Cara ini memungkinkan untuk mendapatkan solusi yang lebih beragam. Artinya, probabilitas tertinggi adalah pemilihan J4 sebagai *job* yang akan dikerjakan selanjutnya, namun dengan adanya *roulette wheel* masih memungkinkan *job* lain yang akan terpilih. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Roulette wheel* mesin 1 pemilihan ke-1

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 1.

Tabu list: 0 – J1 –

S_k pada mesin 1 adalah O_{21}, O_{31}, O_{41}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang

ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

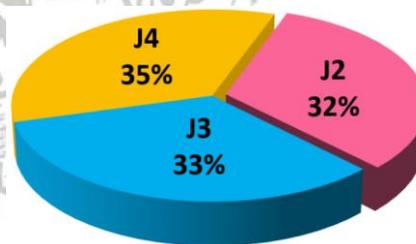
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.005556)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.004167)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.007407)^{0.1} = 1.879711$$

$$P_{12}^1 = \frac{0.603903}{1.879711} = 0.321274$$

$$P_{13}^1 = \frac{0.619558}{1.879711} = 0.329603$$

$$P_{14}^1 = \frac{0.65625}{1.879711} = 0.349123$$

Probabilitas terbesar adalah P_{14}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-4 (J4). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Roulettee wheel* mesin 1 pemilihan ke-2

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 2.

Tabu list: 0 – J1 – J2 –

S_k pada mesin 1 adalah O_{31}, O_{41}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

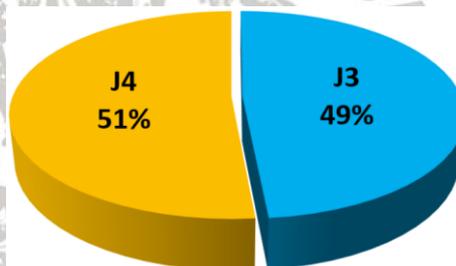
Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^b = (2)^{0.1} (0.004167)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.007407)^{0.1} = 1.275808$$

$$P_{23}^1 = \frac{0.619558}{1.275808} = 0.48562$$

$$P_{24}^1 = \frac{0.65625}{1.275808} = 0.51438$$

Probabilitas terbesar adalah P_{24}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-4 (J4). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Roulette wheel* mesin 1 pemilihan ke-3

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 3.

Tabu list: 0 – J1 – J2 – J3 –

S_k pada mesin 1 adalah O_{41}

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^b = (2)^{0.1} (0.007407)^{0.1} = 0.65625$$

$$P_{34}^1 = \frac{0.65625}{0.65625} = 1$$

Tabu list: 0 – J1 – J2 – J3 – J4

S_k pada mesin 1 kosong.

Pada mesin 2

Menghitung probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j berdasarkan persamaan (4.1).

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.004651)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.011905)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.010753)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.005435)^{0.1} = 2.631957$$

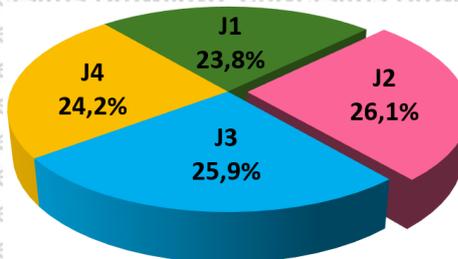
$$P_{01}^1 = \frac{0.626411}{2.631957} = 0.238002$$

$$P_{02}^1 = \frac{0.688137}{2.631957} = 0.261455$$

$$P_{03}^1 = \frac{0.681169}{2.631957} = 0.258807$$

$$P_{04}^1 = \frac{0.63624}{2.631957} = 0.241737$$

Probabilitas terbesar adalah P_{02}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-2 (J2). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Roulette wheel* mesin 2 pemilihan ke-1

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 2.

Tabu list: 0 – J2 –

S_k pada mesin 2 adalah O_{12}, O_{32}, O_{42}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

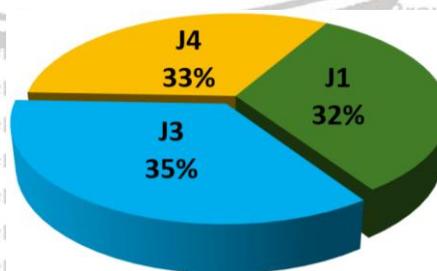
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.626411)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.681169)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.63624)^{0.1} = 1.94382$$

$$P_{21}^1 = \frac{0.626411}{1.94382} = 0.322258$$

$$P_{23}^1 = \frac{0.681169}{1.94382} = 0.350428$$

$$P_{24}^1 = \frac{0.63624}{1.94382} = 0.327314$$

Probabilitas terbesar adalah P_{23}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Roulette wheel mesin 2 pemilihan ke-2

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 3.

Tabu list: 0 – J2 – J3 –

S_k pada mesin 2 adalah O_{12}, O_{42}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

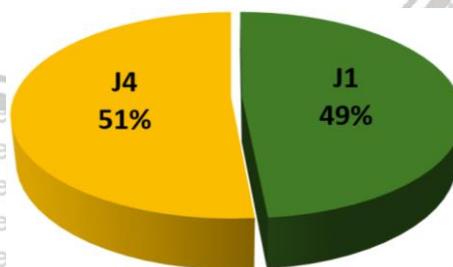
Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.626411)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.63624)^{0.1} = 1.262651$$

$$P_{31}^1 = \frac{0.626411}{1.262651} = 0.496108$$

$$P_{34}^1 = \frac{0.63624}{1.262651} = 0.503892$$

Probabilitas terbesar adalah P_{34}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-4 (J4). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 *Roulettee wheel* mesin 2 pemilihan ke-3

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 1.

Tabu list: 0 – J2 – J3 – J1 –

S_k pada mesin 2 adalah O_{42}

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.63624)^{0.1} = 0.63624$$

$$P_{14}^1 = \frac{0.63624}{0.63624} = 1$$

Tabu list: 0 – J2 – J3 – J1 – J4

S_k pada mesin 2 kosong.

Pada mesin 3

Menghitung probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j berdasarkan persamaan (4.1).

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.012195)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.0125)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.025)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.011765)^{0.1} = 2.809758$$

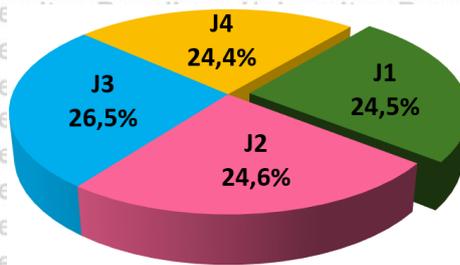
$$P_{01}^1 = \frac{0.689797}{2.809758} = 0.2455$$

$$P_{02}^1 = \frac{0.69150}{2.809758} = 0.24611$$

$$P_{03}^1 = \frac{0.741134}{2.809758} = 0.26377$$

$$P_{04}^1 = \frac{0.687323}{2.809758} = 0.24462$$

Probabilitas terbesar adalah P_{03}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 *Roulettee wheel* mesin 3 pemilihan ke-1

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 1.

Tabu list: 0 – J1 –

S_k pada mesin 3 adalah O_{23}, O_{33}, O_{43}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

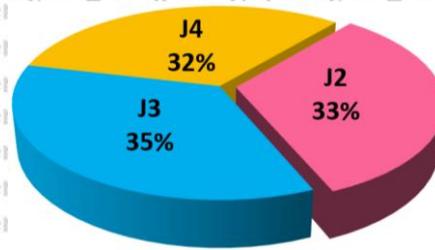
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.0125)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.025)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.011765)^{0.1} = 2.119961$$

$$P_{12}^1 = \frac{0.691503}{2.119961} = 0.326187$$

$$P_{13}^1 = \frac{0.741134}{2.119961} = 0.349598$$

$$P_{14}^1 = \frac{0.687323}{2.119961} = 0.324215$$

Probabilitas terbesar adalah P_{13}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Roulette wheel mesin 3 pemilihan ke-2

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 2.

Tabu list: 0 – J1 – J2 –

S_k pada mesin 3 adalah $0_{33}, 0_{43}$

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

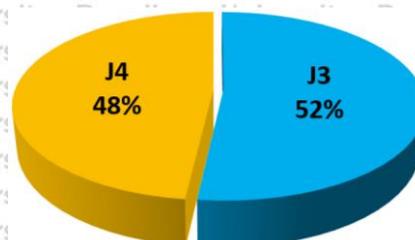
Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.025)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.011765)^{0.1} = 1.428458$$

$$P_{23}^1 = \frac{0.741134}{1.428458} = 0.518835$$

$$P_{24}^1 = \frac{0.687323}{1.428458} = 0.481165$$

Probabilitas terbesar adalah P_{23}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Roulette wheel mesin 3 pemilihan ke-3

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 3.

Tabu list: 0 – J1 – J2 – J3 –

S_k pada mesin 3 adalah O_{43}

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.011765)^{0.1} = 0.687323$$

$$P_{34}^1 = \frac{0.687323}{0.687323} = 1$$

Tabu list: 0 – J1 – J2 – J3 – J4

S_k pada mesin 3 kosong.

Pada mesin 4

Menghitung probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j berdasarkan persamaan (4.1).

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.002762)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.008696)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.013333)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.005181)^{0.1} = 2.590657$$

$$P_{01}^1 = \frac{0.59461}{2.590657} = 0.229521$$

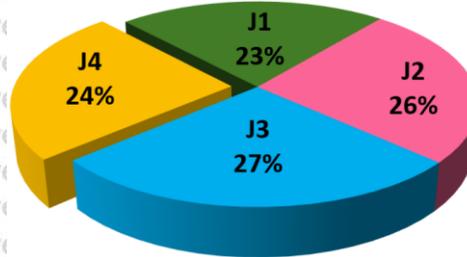
$$P_{02}^1 = \frac{0.666858}{2.590657} = 0.257409$$

$$P_{03}^1 = \frac{0.69598}{2.590657} = 0.26865$$

$$P_{04}^1 = \frac{0.633209}{2.590657} = 0.24442$$

Probabilitas terbesar adalah P_{03}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan

operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 *Roulette wheel* mesin 4 pemilihan ke-1

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 4.

Tabu list: 0 – J4 –

S_k pada mesin 4 adalah O_{14}, O_{24}, O_{34}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

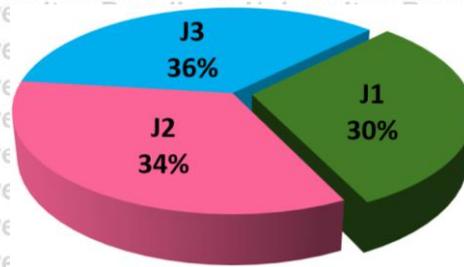
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.002762)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.008696)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.013333)^{0.1} = 1.957448$$

$$P_{41}^1 = \frac{0.59461}{1.957448} = 0.303768$$

$$P_{42}^1 = \frac{0.666858}{1.957448} = 0.340677$$

$$P_{43}^1 = \frac{0.69598}{1.957448} = 0.355555$$

Probabilitas terbesar adalah P_{43}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 *Roulette wheel* mesin 4 pemilihan ke-2

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 1.

Tabu list: 0 – J4 – J1 –

S_k pada mesin 4 adalah O_{24}, O_{34}

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *job* yang belum dikerjakan.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (2)^{0.1} (0.008696)^{0.1} + (2)^{0.1} (0.013333)^{0.1} = 1.362838$$

$$P_{12}^1 = \frac{0.666858}{1.362838} = 0.489316$$

$$P_{13}^1 = \frac{0.69598}{1.362838} = 0.510684$$

Probabilitas terbesar adalah P_{13}^1 , artinya *job* yang memiliki peluang terbesar untuk dikerjakan adalah *job* ke-3 (J3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan operasi selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Roulette wheel mesin 4 pemilihan ke-3

Setelah *job* yang akan dikerjakan terpilih, operasi tersebut dihapus dari daftar operasi yang belum dikerjakan. Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *job* yang terpilih adalah *job* 3.

Tabu list: 0 – J4 – J1 – J3 –

S_k pada mesin 4 adalah O_{24}

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.5 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ yang ada pada Tabel 4.4, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (0.008696)^{0.1} (2)^{0.1} = 0.666858$$

$$P_{32}^1 = \frac{0.666858}{0.666858} = 1$$

Tabu list: 0 – J4 – J1 – J3 – J2

S_k pada mesin 3 kosong.

Setelah penentuan jadwal pada masing-masing mesin, selanjutnya adalah menghitung total waktu produksi dari keempat mesin. Jadwal yang diperoleh masing-masing mesin adalah sebagai berikut.

M1 : J1 → J2 → J3 → J4

M2 : J2 → J3 → J1 → J4

M3 : J1 → J2 → J3 → J4

M4 : J4 → J1 → J3 → J2

Jadwal dari M1

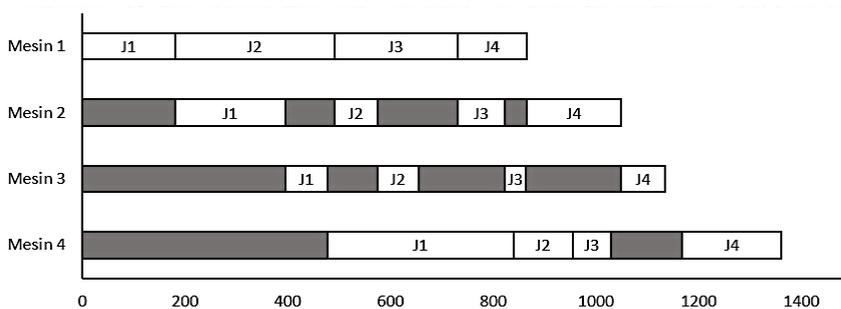
J1 → J2 → J3 → J4

M1 : 180 → 310 → 240 → 135

M2 : 215 → 84 → 93 → 184

M3 : 82 → 80 → 40 → 85

M4 : 362 → 115 → 75 → 193



Gambar 4.18 Perhitungan total waktu produksi mesin 1

Berdasarkan *gantt chart* pada Gambar 4.18, didapatkan total waktu produksi

1361 menit.

Jadwal dari M2

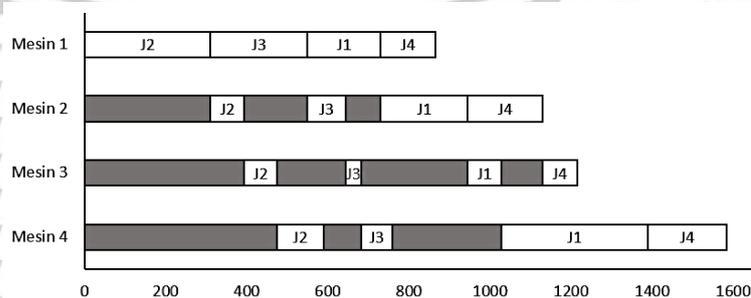
J2 → J3 → J1 → J4

M1 : 310 → 240 → 180 → 135

M2 : 84 → 93 → 215 → 184

M3 : 80 → 40 → 82 → 85

M4 : 115 → 75 → 362 → 193



Gambar 4.19 Perhitungan total waktu produksi mesin 2

Berdasarkan *gantt chart* pada Gambar 4.19, didapatkan total waktu produksi

1582 menit.

Jadwal dari M3

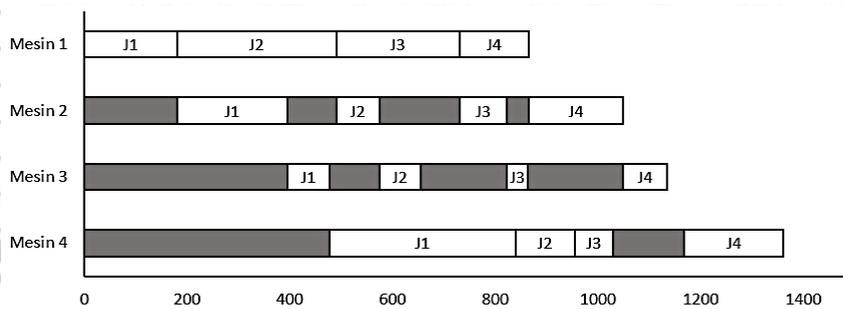
J1 → J2 → J3 → J4

M1 : 180 → 310 → 240 → 135

M2 : 215 → 84 → 93 → 184

M3 : 82 → 80 → 40 → 85

M4 : 362 → 115 → 75 → 193



Gambar 4.20 Perhitungan total waktu produksi mesin 2

Berdasarkan *gantt chart* pada Gambar 4.20, didapatkan total waktu produksi 1361 menit.

Jadwal dari M4

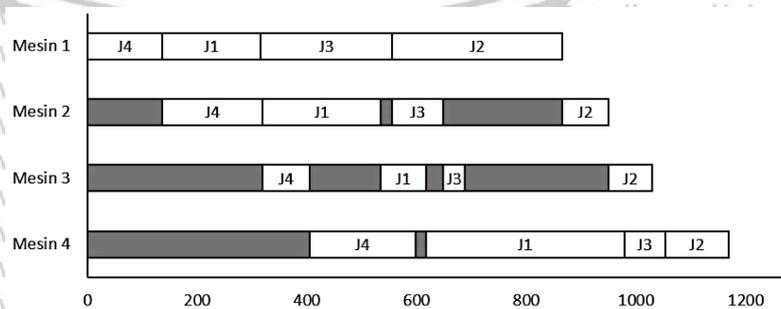
J4 → J1 → J3 → J2

M1 : 135 → 180 → 240 → 310

M2 : 184 → 215 → 93 → 84

M3 : 85 → 82 → 40 → 80

M4 : 193 → 362 → 75 → 115



Gambar 4.21 Perhitungan total waktu produksi mesin 4

Berdasarkan *gantt chart* pada Gambar 4.21, didapatkan total waktu produksi 1168 menit.

Dari keempat jadwal yang didapatkan, dibandingkan total waktu produksi pada masing-masing jadwal.

Jadwal 1 : J1 → J2 → J3 → J4 : 1361 menit

Jadwal 2 : J2 → J3 → J1 → J4 : 1582 menit

Jadwal 3 : J1 → J2 → J3 → J4 : 1361 menit

Jadwal 4 : J4 → J1 → J3 → J2 : 1168 menit

Total waktu produksi minimum adalah yang dihasilkan dari jadwal 4, J4 → J1 → J3 → J2, yaitu 1168 menit. Jadi jadwal ini yang terpilih pada iterasi 1.

Langkah 3: Update Pheromone

Aturan pembaruan *pheromone* lokal berdasarkan persamaan (4.2).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \text{ adalah jalur yang dilalui semut} \\ 0 & , \text{selainnya.} \end{cases}$

Dari jadwal yang diperoleh, jalur-jalur yang dilalui semut adalah (0,4), (4,1), (1,3), dan (3,2).

$$\tau(0,4) = (1 - 0,5)(2) + 0.24442 = 1.24442$$

$$\tau(4,1) = (1 - 0,5)(2) + 0.303768 = 1.303768$$

$$\tau(1,3) = (1 - 0,5)(2) + 0.510684 = 1.510684$$

$$\tau(3,2) = (1 - 0,5)(2) + 1 = 2$$

Total *pheromone* lokal semut ke-1 = 6.0589

Hasil update *pheromone* lokal akan dibandingkan pada setiap semut yang melakukan perjalanan dan dipilih total *pheromone* tertinggi yang dihasilkan.

Selanjutnya dilakukan update *pheromone* global berdasarkan persamaan (4.3).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{D_k}, & \text{jika } (i, j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } k \\ 0, & \text{untuk yang lainnya.} \end{cases}$

$$\tau(0,4) = (1 - 0,5)(1.24442) + \frac{2000}{1168} = 2.334539$$

$$\tau(4,1) = (1 - 0,5)(1.303768) + \frac{2000}{1168} = 2.364213$$

$$\tau(1,3) = (1 - 0,5)(1.510684) + \frac{2000}{1168} = 2.467671$$

$$\tau(3,2) = (1 - 0,5)(2) + \frac{2000}{1168} = 2.712329$$

Selain jalur yang dilewati semut, *pheromone* mengalami evaporasi yang ditunjukkan dengan rumus $\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t)$.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - 0,5)(2) = 1$$

Tabel 4.6 Hasil update *pheromone* iterasi 1

τ_{ij}	0	1	2	3	4
0	0	1	1	1	2.334539
1	1	0	1	2.467671	2.364213
2	1	1	0	2.712329	1
3	1	2.467671	2.712329	0	1
4	2.334539	2.364213	1	1	0

Hasil update *pheromone* pada Tabel 4.6 akan digunakan untuk perhitungan di iterasi berikutnya.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dilakukan dengan melihat hasil update *pheromone* disetiap iterasi. Dalam penelitian ini, penentuan solusi terbaik berdasarkan *elitism*

selection. Hasil yang diperoleh pada setiap iterasi akan dibandingkan dengan hasil dari iterasi sebelumnya. Hasil iterasi dengan total waktu produksi minimum yang akan terpilih.

4.5.2 Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan produksi dengan menggunakan program

Algoritma koloni semut diterapkan dengan menggunakan program Matlab.

Data waktu proses empat *job* pada empat mesin yang dijadwalkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Waktu proses empat *job* pada empat mesin (dalam menit)

t_{ij}	M1	M2	M3	M4
J1	180	215	82	362
J2	310	84	80	115
J3	240	93	40	75
J4	135	184	85	193

Tabel 4.8 Nilai *visibility* empat mesin

$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{t_{ij}}$	M1	M2	M3	M4
J1	0.005556	0.004651	0.012195	0.002762
J2	0.003226	0.011905	0.0125	0.008696
J3	0.004167	0.010753	0.025	0.013333
J4	0.007407	0.005435	0.011765	0.005181

Hasil dari percobaan-percobaan yang dilakukan akan disajikan pada pembahasan berikut.

Percobaan ke-1

Pada percobaan pertama, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 10$ (intensitas *pheromone* di setiap jalur)

$\alpha = 0,8$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 0,2$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 1000$ (konstanta)

$k = 1$ (jumlah semut yang digunakan)

$Cmax = 10$ (maksimum iterasi)

Tabu list awal: 0

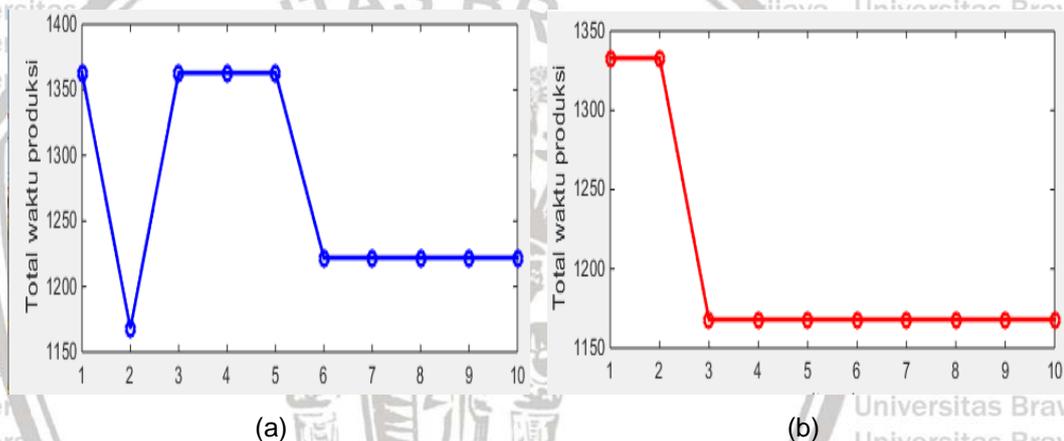
S_k pada mesin 1 adalah $O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$

S_k pada mesin 2 adalah $O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{42}$

S_k pada mesin 3 adalah $O_{13}, O_{23}, O_{33}, O_{43}$

S_k pada mesin 4 adalah $O_{14}, O_{24}, O_{34}, O_{44}$

Hasil dari percobaan ke-1 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 Percobaan ke-1 penjadwalan produksi

Gambar 4.22 (a) adalah percobaan pertama yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.22 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Dari percobaan pertama, penjadwalan dengan menggunakan modifikasi koloni semut memberikan hasil yang lebih baik. Total waktu produksi minimum yang diperoleh dari metode koloni semut adalah 1222 menit, dengan urutan *job* J1–J4–J2–J3 dan total waktu produksi minimum yang diperoleh dari modifikasi koloni semut adalah 1168 menit, dengan urutan *job* J4–J1–J3–J2. Urutan *job* yang terpilih adalah urutan *job* dengan total waktu produksi yang minimum, yaitu hasil penjadwalan dengan modifikasi koloni semut.

Tabu list : 0 – J4 – J1 – J3 – J2

S_k pada mesin 1 kosong

S_k pada mesin 2 kosong

S_k pada mesin 3 kosong

S_k pada mesin 4 kosong

Total waktu produksi minimum yang didapatkan dari percobaan pertama adalah

1168 menit dengan urutan *job* J4-J1-J3-J2.

Percobaan ke-2

Pada percobaan kedua, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 1000$ (intensitas *pheromone* di setiap jalur)

$\alpha = 0,5$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 0,5$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 1000$ (konstanta)

$k = 100$ (jumlah semut yang digunakan)

$C_{max} = 100$ (maksimum iterasi)

Tabu list awal: 0 –

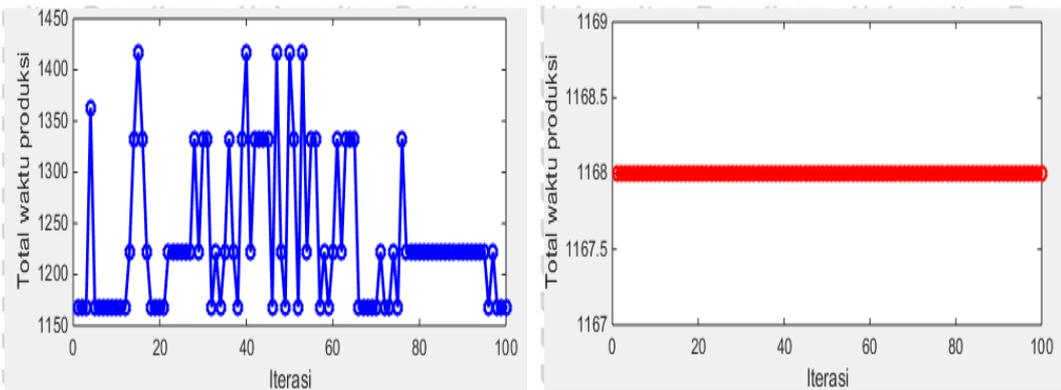
S_k pada mesin 1 adalah $O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$

S_k pada mesin 2 adalah $O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{42}$

S_k pada mesin 3 adalah $O_{13}, O_{23}, O_{33}, O_{43}$

S_k pada mesin 4 adalah $O_{14}, O_{24}, O_{34}, O_{44}$

Hasil dari percobaan ke-2 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.23 berikut.



(a) (b)
Gambar 4.23 Percobaan ke-2 penjadwalan produksi

Gambar 4.23 (a) adalah percobaan kedua yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.23 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Pada percobaan ini, dengan menggunakan kedua algoritma didapatkan hasil yang sama yaitu urutan *job* J4-J1-J2-J3, dengan total waktu produksi 1168 menit. Perbedaannya, dengan menggunakan metode koloni semut, solusi yang didapatkan masih belum stabil sedangkan dengan menggunakan modifikasi koloni semut kestabilan solusi sangat baik. Terlihat bahwa, pada Gambar 4.23 (b) hasil yang optimal diperoleh sejak iterasi pertama.

Tabu list : 0 – J4 – J1 – J2 – J3

S_k pada mesin 1 kosong

S_k pada mesin 2 kosong

S_k pada mesin 3 kosong

S_k pada mesin 4 kosong

Total waktu produksi minimum yang didapatkan dari percobaan kedua adalah 1168 menit dengan urutan *job* J4-J1-J2-J3.

Percobaan ke-3

Pada percobaan ketiga, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 1000$ (intensitas *pheromone* di setiap jalur)

$\alpha = 0,5$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 0,5$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 10000$ (konstanta)

$k = 1000$ (jumlah semut yang digunakan)

$Cmax = 1000$ (maksimum iterasi)

Tabu list awal: 0 –

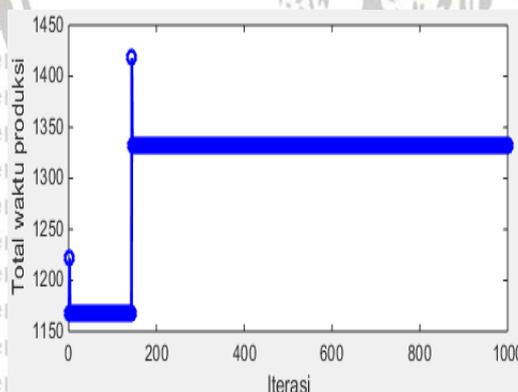
S_k pada mesin 1 adalah $O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$

S_k pada mesin 2 adalah $O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{42}$

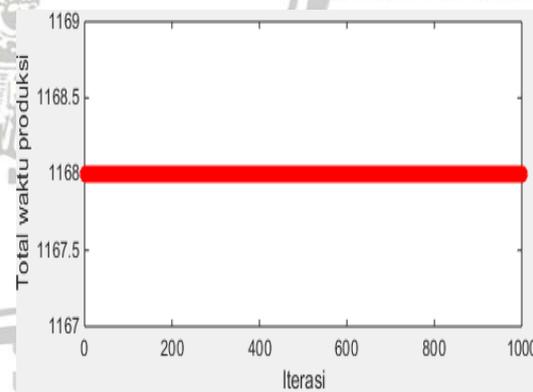
S_k pada mesin 3 adalah $O_{13}, O_{23}, O_{33}, O_{43}$

S_k pada mesin 4 adalah $O_{14}, O_{24}, O_{34}, O_{44}$

Hasil dari percobaan ke-3 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.24 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.24 Percobaan ke-3 penjadwalan produksi

Gambar 4.24 (a) adalah percobaan ketiga yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.24 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Pada percobaan ini, dilakukan penambahan jumlah semut dan iterasi. Kestabilan solusi terlihat pada kedua metode yang

digunakan. Namun hasil yang lebih optimal didapatkan dengan menggunakan modifikasi koloni semut. Urutan *job* yang diperoleh adalah J4-J1-J2-J3, dengan total waktu produksi 1168 menit.

Tabu list: 0 – J4 – J1 – J2 – J3

S_k pada mesin 1 kosong

S_k pada mesin 2 kosong

S_k pada mesin 3 kosong

S_k pada mesin 4 kosong

Total waktu produksi minimum yang didapatkan dari percobaan ini adalah 1168 menit dengan urutan *job* J4-J1-J2-J3.

Dari ketiga percobaan yang dilakukan, terlihat bahwa modifikasi koloni semut memiliki keunggulan dibandingkan metode koloni semut biasa. Keunggulan yang tampak adalah dalam hal kestabilan solusi dan kemampuan mendapatkan solusi optimal walaupun menggunakan jumlah semut dan iterasi yang relatif kecil.

Total waktu produksi minimum yang didapatkan dari beberapa percobaan di atas adalah 1168 menit dengan urutan *job* J4-J1-J3-J2 atau J4-J1-J2-J3.

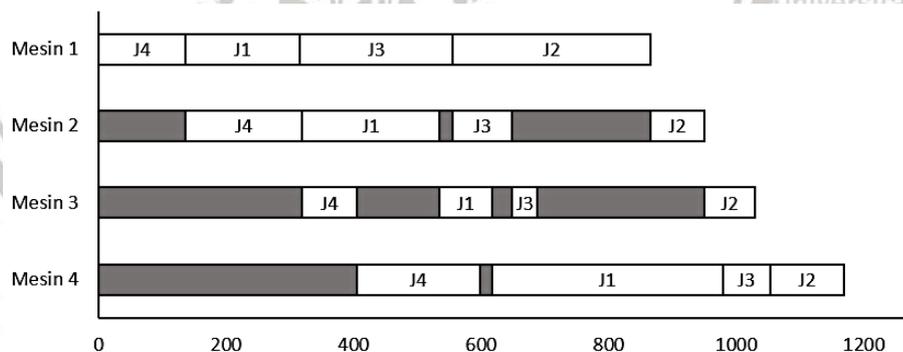
Dengan menggunakan persamaan (2.4) dan b_1 sebesar Rp 920,00 per menit, diperoleh biaya produksi optimal adalah Rp 1.074.560,00. Perbedaan dari ketiga percobaan di atas adalah pada percobaan pertama dengan menggunakan 1 semut dan 10 iterasi, solusi optimal didapatkan pada iterasi ketiga, sedangkan pada percobaan kedua, dengan menggunakan 100 semut dan 100 iterasi, dan percobaan ketiga, dengan menggunakan 1000 semut dan 1000 iterasi, solusi optimal didapatkan pada iterasi pertama. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah semut dapat memberikan hasil yang lebih baik. Semakin banyak jumlah semut yang digunakan, semakin banyak pula kemungkinan urutan *job* yang diperoleh, sehingga peluang didapatkannya solusi optimal lebih besar.

Hasil perbandingan jadwal produksi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi ditunjukkan dalam Tabel 4.9. Perbandingan dilihat dari dua faktor, yaitu total waktu produksi dan biaya produksi.

Tabel 4.9 Perbandingan jadwal produksi sebelum dan sesudah optimasi

No	Faktor Pembeding	Sebelum Optimasi (J1-J2-J3-J4)	Sesudah Optimasi (J4-J1-J3-J2)	Jumlah Penurunan
1	Total waktu produksi	1361 menit	1168 menit	193 menit
2	Biaya produksi	Rp 1.252.120,00	Rp 1.074.560,00	Rp 177.560,00

Setelah dilakukan optimasi, total waktu produksi empat *job* pada empat mesin adalah 1168 menit, sedangkan total waktu produksi sebelumnya adalah 1361 menit. Terdapat pengurangan waktu produksi sebesar 193 menit. Biaya produksi sebelum optimasi Rp 1.252.120,00 dan sesudah optimasi menjadi Rp 1.074.560,00, terjadi penghematan biaya produksi sebesar Rp 177.560,00. Perbedaan total waktu produksi bergantung pada penyusunan urutan *job*, sehingga pemilihan urutan *job* yang dikerjakan sangat penting untuk mendapatkan total waktu produksi dan biaya produksi yang optimal.



Gambar 4.25 Gantt chart jadwal produksi J4-J1-J3-J2

Gambar 4.25 adalah *ganttt chart* yang menggambarkan proses kerja keempat mesin dalam menyelesaikan empat *job* dengan urutan J4-J1-J3-J2. Selain menurunkan total waktu produksi dan biaya produksi, hasil optimasi juga berpengaruh pada peningkatan produktivitas mesin. Setelah dilakukan optimasi, *idle time* pada M2 373 menit, M3 742 menit, dan M4 423 menit. Terjadi

peningkatan produktivitas M2 100 menit, M3 105 menit, dan M4 193 menit. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Produktivitas mesin sebelum dan sesudah optimasi

Idle time 4 mesin	M1	M2	M3	M4
Sebelum Optimasi	0 menit	473 menit	847 menit	616 menit
Sesudah Optimasi	0 menit	373 menit	742 menit	423 menit
Peningkatan Produktivitas	0 menit	100 menit	105 menit	193 menit

4.6 Proses Distribusi

Setelah selesai dari proses produksi, produk siap didistribusikan sesuai dengan pesanan ke masing-masing *customer*. Pendistribusian produk yang dilakukan oleh PT. Blambangan Foodpackers Indonesia hanya di wilayah Banyuwangi. Pengiriman keluar daerah diserahkan pada pihak ekspedisi, sehingga pihak perusahaan hanya bertanggung jawab dalam pengiriman pesanan kepada *customer* yang berada di dalam Kabupaten Banyuwangi. Peta wilayah Kabupaten Banyuwangi dapat dilihat dalam Gambar 4.26 berikut.



Gambar 4.26 Peta Kabupaten Banyuwangi

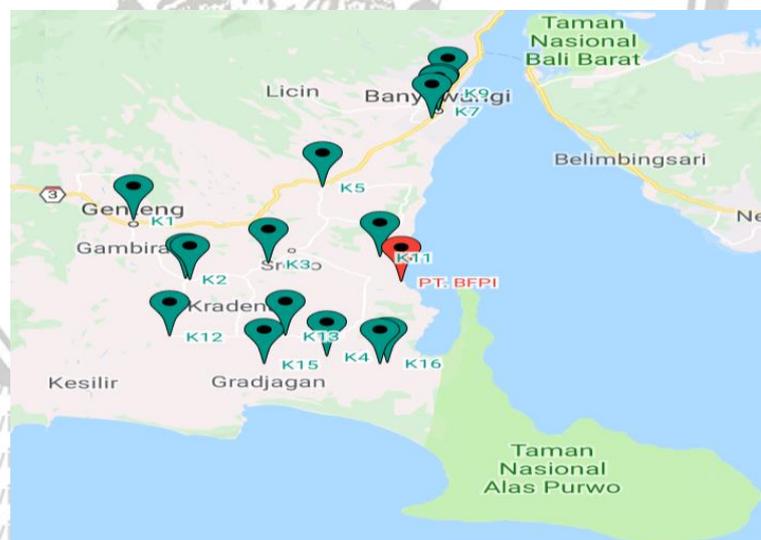
PT. Blambangan Foodpackers Indonesia berlokasi di Jl. Sampangan Kecamatan Muncar. Terdapat sebanyak 16 *customer* aktif yang tersebar di

berbagai kecamatan di wilayah Banyuwangi. Lokasi masing-masing *customer* dapat dilihat dalam Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Lokasi 16 *customer* di Banyuwangi

No	Kode	Alamat	Jarak dari Perusahaan
1	K1	Jl. Kh. Wahid Hasyim, Genteng	27 km
2	K2	Jl. Yos Sudarso, Jajag	21,5 km
3	K3	Jl. Raya Sragen, Dusun Krajan, Cluring	13 km
4	K4	Jl. Raya Purwoasri, Desa Purwoasri, Tegaldlimo	18 km
5	K5	Jl. Jember-Banyuwangi, Rogojampi	21 km
6	K6	Jl. Adi Sucipto, Kel. Tukangkayu, Banyuwangi	35,2 km
7	K7	Jl. Jenderal Ahmad Yani, Kel. Tukangkayu, Banyuwangi	35,7 km
8	K8	Jl. Jenderal Ahmad Yani, Kel. Penganjuran, Banyuwangi	36 km
9	K9	Jl. Basuki Rahmat, Kel. Lateng, Banyuwangi	38 km
10	K10	Jl. PB. Sudirman, Dusun Kp. Baru, Jajag	21 km
11	K11	Dusun Palurejo, Tembokrejo, Muncar	5,5 km
12	K12	Jl. Seneporejo, Gn. Sari, Bangorejo	29,5 km
13	K13	Jl. Raya Jatirejo, Desa Glagahagung, Purwoharjo	18 km
14	K14	Jl. Kalipait, Desa Kedungwungu, Tegaldlimo	16 km
15	K15	Jl. Grajagan, Desa Grajagan, Purwoharjo	23 km
16	K16	Dusun Persen, Kedungasri, Tegaldlimo	16 km

Lokasi perusahaan dan 16 *customer* di wilayah Kabupaten Banyuwangi pada peta dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Lokasi 16 *customer*

4.7 Data Distribusi

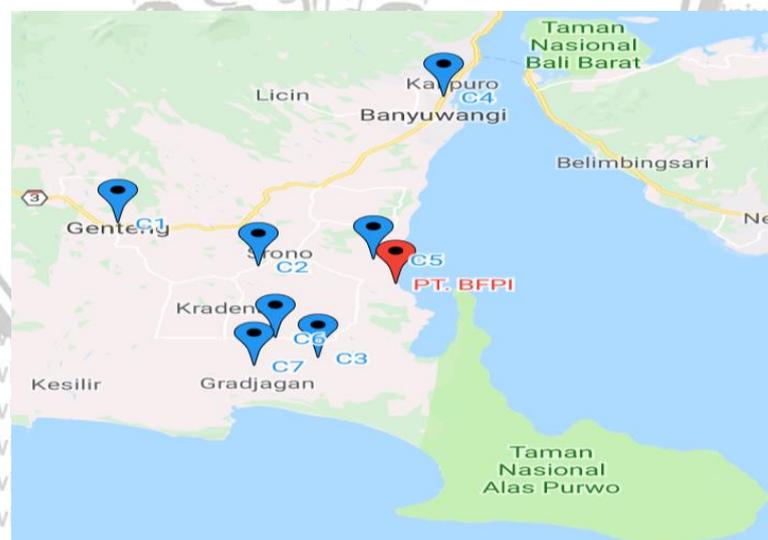
Pendistribusian produk yang dilakukan PT. Blambangan Foodpackers Indonesia berdasarkan pada tanggal pemesanan. Pesanan yang masuk pada

tanggal yang sama akan didistribusikan pada tanggal yang sama. Empat *job* yang diproses dalam penjadwalan produksi merupakan pesanan yang masuk pada hari yang sama dari 7 *customer*, sehingga penjadwalan distribusi adalah kegiatan menjadwalkan urutan pengiriman ke 7 *customer* tersebut. Tabel 4.12 berikut memuat daftar 7 lokasi *customer* yang akan dijadwalkan pengirimannya.

Tabel 4.12 Lokasi 7 *customer* di Banyuwangi

No	Kode	Alamat	Jarak dari Perusahaan
1	K1	Jl. Kh. Wahid Hasyim, Genteng	27 km
2	K3	Jl. Raya Sragen, Dusun Krajan, Cluring	13 km
3	K4	Jl. Raya Purwoasri, Desa Purwoasri, Tegaldlimo	18 km
4	K9	Jl. Basuki Rahmat, Kel. Lateng, Banyuwangi	38 km
5	K11	Dusun Palurejo, Tembokrejo, Muncar	5,5 km
6	K13	Jl. Raya Jatirejo, Desa Glagahagung, Purwoharjo	18 km
7	K15	Jl. Grajagan, Desa Grajagan, Purwoharjo	23 km

Supaya mempermudah penjadwalan, kode *customer* diubah, K1=C1, K3=C2, K4=C3, K9=C4, K11=C5, K13=C6, dan K15=C7. Lokasi dari 7 *customer* yang akan dijadwalkan direpresentasikan dengan simbol merah pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Lokasi 7 *customer*

Dari 8 lokasi di atas, 1 lokasi perusahaan dan 7 lokasi *customer*, akan ditentukan urutan pendistribusian produk sedemikian sehingga jarak yang ditempuh minimum. Data jarak antar lokasi diberikan dalam Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Jarak antar lokasi (dalam kilometer)

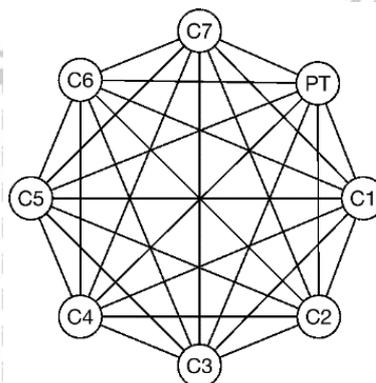
	PT.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT.	0	27	13	18	38	5,5	18	23
C1	27	0	14	33	39	25	27	29
C2	13	14	0	23	32	12	17	18
C3	18	33	23	0	49	17	6	7
C4	38	39	32	49	0	33	48	51
C5	5,5	25	12	17	33	0	18	23
C6	18	27	17	6	48	18	0	5,2
C7	23	29	18	7	51	23	5,2	0

Sebelum dilakukan optimasi, rute pendistribusian barang oleh PT. BFPI adalah PT-C5-C2-C1-C6-C7-C3-C4-PT dengan jarak tempuh distribusi 157,7 km dan biaya distribusi yang dikeluarkan sebesar Rp 275.975,00. Pemilihan rute pengiriman tersebut berdasarkan aturan *nearest neighbor*, lokasi terdekat dengan posisi awal akan dikunjungi lebih dulu.

4.8 Penjadwalan Distribusi

Penjadwalan distribusi adalah kegiatan menjadwalkan kunjungan ke 7 *customer* dengan menggunakan satu kendaraan distribusi. Sales yang mendistribusikan produk berangkat dari perusahaan menuju ke 7 *customer* dan kembali ke perusahaan jika semua *customer* telah dikunjungi tepat satu kali.

Banyaknya rute yang mungkin dilalui oleh sales tersebut direpresentasikan oleh graf pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Graf rute distribusi

Terdapat banyak sekali rute yang dapat dipilih oleh sales distribusi. Setiap kemungkinan rute merupakan lintasan tertutup yang dimulai dan berakhir pada node PT.

4.9 Modifikasi Algoritma Koloni Semut untuk *Routing Problem*

Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Inisialisasi parameter terdiri dari: intensitas *pheromone* $\tau_{ij}(t)$, tetapan pengendali intensitas *pheromone* (α), tetapan pengendali *visibility* (β), tingkat evaporasi *pheromone* (ρ), banyaknya semut (k).

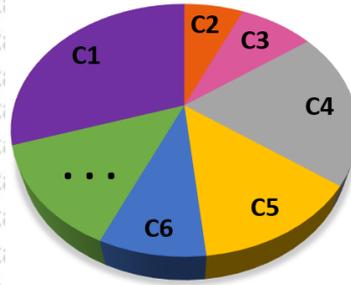
Langkah 2: Aturan Transmisi Status

Aturan transmisi status merupakan probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j , disimbolkan dengan P , bernilai $0 \leq$

$P_{ij}^k(t) \leq 1$. Aturan transmisi status ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini.

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \in S_k \\ 0 & , \text{jika } (i, j) \notin S_k \end{cases} \quad (4.4)$$

S_k adalah *tabu list* untuk semut k . *Tabu list* berisi daftar pelanggan yang harus dikunjungi, dan setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali. $S_k(i)$ adalah elemen ke i dari S_k , yaitu titik ke i yang dikunjungi semut k pada *tour*. τ_{ij} adalah jumlah *pheromone* yang terdapat pada sisi antara titik i dan j . $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ adalah nilai *visibility* yang diperoleh dari reciprocal jarak tempuh dari pelanggan ke- i ke pelanggan ke- j . Nilai yang diberikan pada fungsi ini biasa disebut informasi heuristik. Jika semakin tinggi nilai $\eta_{ij}(t)$, maka akan diperoleh probabilitas yang tinggi. α adalah parameter yang mengontrol bobot relatif *pheromone* ($0 < \alpha \leq 1$) dan β adalah parameter pengendali *visibility* ($0 < \beta \leq 1$).



Gambar 4.30 Roulette wheel selection untuk penjadwalan distribusi

Selanjutnya, penentuan *customer* yang akan terpilih berdasarkan seleksi roulette wheel. Semakin tinggi probabilitas suatu *customer*, semakin besar daerah yang diwakili pada papan roulette wheel.

Langkah 3: Update Pheromone

Setelah satu semut telah menyelesaikan *tour*nya, kemudian *pheromone* diupdate berdasarkan *tour* yang dihasilkan satu semut tersebut. Aturan pembaruan *pheromone* lokal diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (4.5)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ adalah peluang semut yang berada di titik i akan memilih titik j , dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & , \text{jika } (i, j) \text{ adalah jalur yang dilalui} \\ 0 & , \text{selainnya.} \end{cases}$$

Setelah semua semut telah menyelesaikan *tour* masing-masing, kemudian dilakukan update *pheromone* secara global. Update *pheromone* global hanya dilakukan pada *tour* yang dihasilkan oleh semut ke- k , yang memiliki total *pheromone* lokal paling tinggi dibandingkan *tour* yang lain. Aturan pembaruan *pheromone* global diimplementasikan pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (4.6)$$

Variabel $\tau_{ij}(t)$ menunjukkan intensitas *pheromone* pada koneksi (i, j) pada waktu t , dengan $0 < \rho < 1$ adalah parameter tingkat evaporasi *pheromone* atau koefisien penguapan *pheromone*. $\Delta\tau_{ij}(t)$ dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{D_k}, & \text{jika } (i, j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } -k \\ 0, & \text{untuk yang lainnya.} \end{cases}$$

Q adalah suatu konstanta dan D_k adalah total jarak yang ditempuh pada *tour* yang dilalui oleh semut ke- k . Dengan pendekatan ini, hanya koneksi yang masuk dalam *tour* terbaik yang akan berpengaruh terhadap penguatan tingkat *pheromone*.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dilakukan dengan melihat hasil update *pheromone* disetiap iterasi. Dalam penelitian ini, penentuan solusi terbaik berdasarkan *elitism selection*. Hasil yang diperoleh pada setiap iterasi akan dibandingkan dengan hasil dari iterasi sebelumnya. Hasil iterasi dengan total jarak dirtribusi minimum yang akan terpilih.

4.10 Penjadwalan Distribusi menggunakan Modifikasi Algoritma Koloni

Semut

Dalam penjadwalan distribusi, algoritma koloni semut digunakan untuk mengoptimalkan jadwal distribusi PT. Blambangan Foodpackers Indonesia.

Jadwal distribusi yang optimal adalah rute pendistribusian produk ke 7 *customer* yang menghasilkan total jarak tempuh yang minimum.

4.10.1 Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan distribusi secara manual

Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Pada perhitungan yang dilakukan dalam penjadwalan produksi, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\tau_{ij} = 10 \quad (\text{intensitas } \textit{pheromone} \text{ di setiap jalur})$$

$\alpha = 1$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 1$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 2000$ (konstanta)

$k = 1$ (jumlah semut yang digunakan)

$C_{max} = 1$ (maksimum iterasi)

Tabel 4.14 Jarak antar lokasi yang dijadwalkan

d_{ij}	PT.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT.	0	27	13	18	38	5,5	18	23
C1	27	0	14	33	39	25	27	29
C2	13	14	0	23	32	12	17	18
C3	18	33	23	0	49	17	6	7
C4	38	39	32	49	0	33	48	51
C5	5,5	25	12	17	33	0	18	23
C6	18	27	17	6	48	18	0	5,2
C7	23	29	18	7	51	23	5,2	0

Tabel 4.15 Nilai *visibility* delapan lokasi

$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}}$	PT.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT.	0	0.03703	0.07692	0.05555	0.02631	0.18181	0.05555	0.04347
C1	0.03703	0	0.07142	0.03030	0.02564	0.04	0.03703	0.03448
C2	0.076923	0.07142	0	0.04347	0.03125	0.08333	0.05882	0.05555
C3	0.055555	0.03030	0.04347	0	0.02040	0.05882	0.16666	0.14285
C4	0.026315	0.02564	0.0312	0.02040	0	0.03030	0.02083	0.01960
C5	0.181818	0.04	0.08333	0.05882	0.03030	0	0.05555	0.04347
C6	0.055555	0.03703	0.05882	0.16666	0.02083	0.05555	0	0.19230
C7	0.043478	0.03448	0.05555	0.14285	0.01960	0.04347	0.19230	0

$Tabu\ list\ awal: PT -$

$S_k : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7$

Tabel 4.16 Nilai awal *pheromone* di setiap jalur

τ_{ij}	PT	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT	0	10	10	10	10	10	10	10
C1	10	0	10	10	10	10	10	10
C2	10	10	0	10	10	10	10	10
C3	10	10	10	0	10	10	10	10
C4	10	10	10	10	0	10	10	10
C5	10	10	10	10	10	0	10	10
C6	10	10	10	10	10	10	0	10
C7	10	10	10	10	10	10	10	0

Langkah 2: Aturan Transmisi Status

Menghitung probabilitas dari semut k yang berada pada titik i dan memilih untuk menuju ke titik j berdasarkan persamaan (4.4).

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}(t)]^b &= (10)^1(0.037037)^1 + (10)^1(0.076923)^1 + \\ &(10)^1(0.055556)^1 + (10)^1(0.026316)^1 + (10)^1(0.181818)^1 + (10)^1(0.055556)^1 + \\ &(10)^1(0.043478)^1 = 4.7668346 \end{aligned}$$

$$P_{01}^1 = \frac{0.37037}{4.7668346} = 0.077697$$

$$P_{02}^1 = \frac{0.769231}{4.7668346} = 0.161371$$

$$P_{03}^1 = \frac{0.555556}{4.7668346} = 0.116546$$

$$P_{04}^1 = \frac{0.263158}{4.7668346} = 0.055206$$

$$P_{05}^1 = \frac{1.818182}{4.7668346} = 0.381423$$

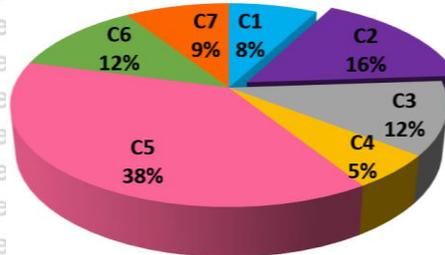
$$P_{06}^1 = \frac{0.555556}{4.7668346} = 0.116546$$

$$P_{07}^1 = \frac{0.434783}{4.7668346} = 0.09121$$

Probabilitas terbesar adalah P_{05}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-5 (C5). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Cara ini memungkinkan untuk mendapatkan solusi yang lebih beragam. Artinya, probabilitas tertinggi adalah pemilihan C5 sebagai *customer* yang akan dikunjungi berikutnya, namun dengan adanya *roulette wheel* masih memungkinkan *customer*

lain yang akan terpilih. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada

Gambar 4.31.



Gambar 4.31 *Roulettee wheel* pemilihan lokasi ke-1

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C2.

Tabu list: PT - C2 -

S_k : C1, C3, C4, C5, C6, C7

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta &= (10)^1 (0.071429)^1 + (10)^1 (0.043478)^1 + \\ &(10)^1 (0.03125)^1 + (10)^1 (0.083333)^1 + (10)^1 (0.058824)^1 + (10)^1 (0.055556)^1 = \\ &3.4386925 \end{aligned}$$

$$P_{21}^1 = \frac{0.71429}{3.4386925} = 0.20772$$

$$P_{23}^1 = \frac{0.43478}{3.4386925} = 0.126438$$

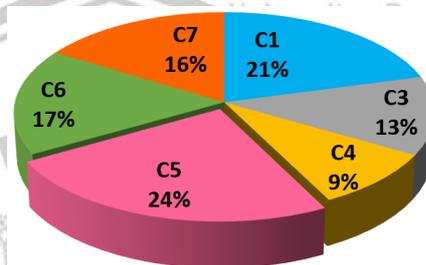
$$P_{24}^1 = \frac{0.3125}{3.4386925} = 0.090878$$

$$P_{25}^1 = \frac{0.83333}{3.4386925} = 0.24234$$

$$P_{26}^1 = \frac{0.58824}{3.4386925} = 0.171064$$

$$P_{27}^1 = \frac{0.55556}{3.4386925} = 0.16156$$

Probabilitas terbesar adalah P_{25}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-5 (C5). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 *Roulettee wheel* pemilihan lokasi ke-2

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C5.

Tabu list: PT - C2 - C5 -

S_k : C1, C3, C4, C6, C7

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (10)^1(0.04)^1 + (10)^1(0.058824)^1 + (10)^1(0.030303)^1 + (10)^1(0.055556)^1 + (10)^1(0.043478)^1 = 2.2816038$$

$$P_{51}^1 = \frac{0.4}{2.2816038} = 0.175315$$

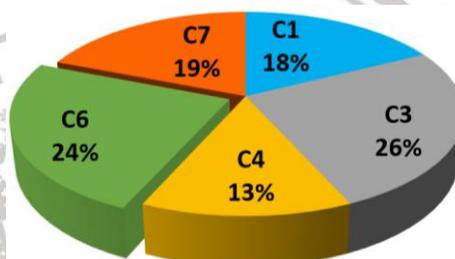
$$P_{53}^1 = \frac{0.588235}{2.2816038} = 0.257817$$

$$P_{54}^1 = \frac{0.30303}{2.2816038} = 0.132815$$

$$P_{56}^1 = \frac{0.555556}{2.2816038} = 0.243493$$

$$P_{57}^1 = \frac{0.434783}{2.2816038} = 0.19056$$

Probabilitas terbesar adalah P_{53}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-3 (C3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 *Roulettee wheel* pemilihan lokasi ke-3

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C6.

Tabu list: PT - C2 - C5 - C6 -

S_k : C1, C3, C4, C7

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (10)^1(0.037037)^1 + (10)^1(0.166667)^1 + (10)^1(0.020833)^1 + (10)^1(0.192308)^1 = 4.1684473$$

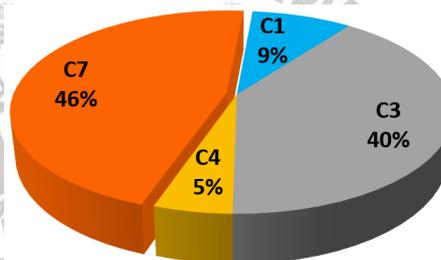
$$P_{61}^1 = \frac{0.37037}{4.1684473} = 0.088851$$

$$P_{63}^1 = \frac{1.66667}{4.1684473} = 0.399829$$

$$P_{64}^1 = \frac{0.20833}{24.1684473} = 0.049979$$

$$P_{67}^1 = \frac{1.92308}{4.1684473} = 0.461341$$

Probabilitas terbesar adalah P_{67}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-7 (C7). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 *Roulette wheel* pemilihan lokasi ke-4

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C7.

Tabu list: PT - C2 - C5 - C6 - C7 -

S_k : C1, C3, C4

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

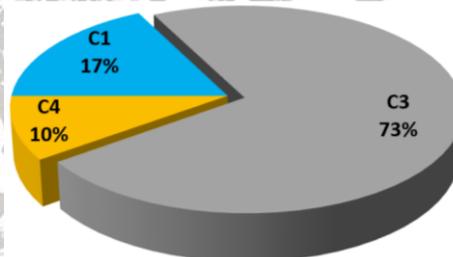
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (10)^1 (0.034483)^1 + (10)^1 (0.142857)^1 + (10)^1 (0.019608)^1 = 1.9694774$$

$$P_{71}^1 = \frac{0.34483}{1.9694774} = 0.175086$$

$$P_{73}^1 = \frac{0.142857}{1.9694774} = 0.725356$$

$$P_{74}^1 = \frac{0.19608}{1.9694774} = 0.099559$$

Probabilitas terbesar adalah P_{73}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-3 (C3). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 *Roulette wheel* pemilihan lokasi ke-5

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C3.

Tabu list: PT – C2 – C5 – C6 – C7 – C3

S_k : C1, C4

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

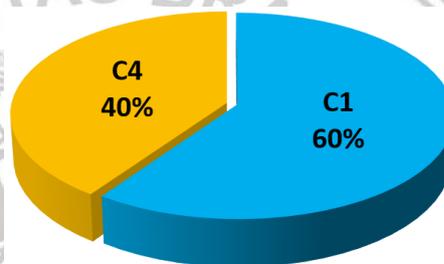
Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (10)^1 (0.030303)^1 + (10)^1 (0.0204082)^1 = 0.5071119$$

$$P_{31}^1 = \frac{0.30303}{0.5071119} = 0.597561$$

$$P_{34}^1 = \frac{0.204082}{0.5071119} = 0.402439$$

Probabilitas terbesar adalah P_{31}^1 , artinya *customer* yang memiliki peluang terbesar untuk kunjungi adalah *customer* ke-1 (C1). Dari perhitungan probabilitas di atas, pemilihan *customer* selanjutnya berdasarkan *roulette wheel selection*. Diagram *roulette wheel* yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 *Roulettee wheel* pemilihan lokasi ke-6

Setelah *customer* yang akan dikunjungi telah terpilih, data tersebut dihapus dari daftar *customer* yang belum dikerjakan.

Misalkan pada percobaan yang dilakukan, *customer* yang terpilih adalah C1.

Tabu list: 0 - C2 - C5 - C6 - C7 - C3 - C1 -

S_k : C4

Selanjutnya adalah menghitung probabilitas dari *customer* yang belum dikunjungi.

Dengan menggunakan nilai $\tau_{ij}(t)$ pada Tabel 4.16 dan nilai $\eta_{ij}(t)$ pada Tabel 4.15, diperoleh perhitungan seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta = (10)^1 (0.025641)^1 = 0.25641$$

$$P_{14}^1 = \frac{0.25641}{0.25641} = 1$$

Tabu list: PT - C2 - C5 - C6 - C7 - C3 - C1 - C4

S_k kosong.

Setelah jadwal diperoleh, selanjutnya adalah menentukan total jarak tempuh distribusi dari jadwal tersebut.

Jadwal : PT → C2 → C5 → C6 → C7 → C3 → C1 → C4 → PT

Jarak Brawijaya: 27 - 12 - 18 - 5,2 - 7 - 33 - 39 - 38

Total waktu : 179,2 km

Langkah 3: Update Pheromone

Aturan pembaruan *pheromone* lokal berdasarkan persamaan (4.5).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} & \text{jika } (i,j) \text{ adalah jalur yang dilalui semut} \\ 0 & \text{selainnya.} \end{cases}$

Dari jadwal yang diperoleh, jalur-jalur yang dilalui semut adalah (0,2), (2,5), (5,6), (6,7), (7,3), (3,1), dan (1,4).

$$\tau(0,2) = (1-0,5)(10) + 0.161371 = 5.161371$$

$$\tau(2,5) = (1-0,5)(10) + 0.24234 = 5.24234$$

$$\tau(5,6) = (1-0,5)(10) + 0.243493 = 5.243493$$

$$\tau(6,7) = (1-0,5)(10) + 0.461341 = 5.461341$$

$$\tau(7,3) = (1-0,5)(10) + 0.725356 = 5.725356$$

$$\tau(3,1) = (1-0,5)(10) + 0.597561 = 5.597561$$

$$\tau(1,4) = (1 - 0,5)(10) + 1 = 6$$

Total *pheromone* lokal semut ke-1 = 38,43146

Hasil update *pheromone* lokal akan dibandingkan pada setiap semut yang melakukan perjalanan dan dipilih total *pheromone* tertinggi yang dihasilkan.

Selanjutnya dilakukan update *pheromone* global berdasarkan persamaan (4.6).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{D_k} & , \text{jika } (i, j) \in \text{perjalanan yang dilalui semut ke } k \\ 0 & , \text{untuk yang lainnya.} \end{cases}$

$$\tau(0,2) = (1 - 0,5)(5.161371) + \frac{2000}{179,2} = 13.74141$$

$$\tau(2,5) = (1 - 0,5)(5.24234) + \frac{2000}{179,2} = 13.78188$$

$$\tau(5,6) = (1 - 0,5)(5.243493) + \frac{2000}{179,2} = 13.78246$$

$$\tau(6,7) = (1 - 0,5)(5.461341) + \frac{2000}{179,2} = 13.89138$$

$$\tau(7,3) = (1 - 0,5)(5.725356) + \frac{2000}{179,2} = 14.02339$$

$$\tau(3,1) = (1 - 0,5)(5.597561) + \frac{2000}{179,2} = 13.95949$$

$$\tau(1,4) = (1 - 0,5)(6) + \frac{2000}{179,2} = 14.1607$$

Selain jalur yang dilewati semut, *pheromone* mengalami evaporasi yang ditunjukkan dengan rumus $\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t)$.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - 0,5)(10) = 5$$

Tabel 4.17 Nilai akhir *pheromone* di setiap jalur

τ_{ij}	PT	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT	0	5	13.7414	5	5	5	5	5
C1	5	0	5	13.95949	16.66071	5	5	5
C2	13.7414	5	0	5	5	13.78188	5	5
C3	5	13.95949	5	0	5	5	5	14.02339
C4	5	16.66071	5	5	0	5	5	5
C5	5	5	13.78188	5	5	0	13.78246	5
C6	5	5	5	5	5	13.78246	0	13.89138
C7	5	5	5	14.02339	5	5	13.89138	0

Hasil *update pheromone* pada Tabel 4.17 akan digunakan untuk perhitungan di iterasi berikutnya.

Langkah 4: Menentukan Solusi Terbaik

Menentukan solusi terbaik dilakukan dengan melihat hasil *update pheromone* di setiap iterasi. Dalam penelitian ini, penentuan solusi terbaik berdasarkan *elitism selection*. Hasil yang diperoleh pada setiap iterasi akan dibandingkan dengan hasil dari iterasi sebelumnya. Hasil iterasi dengan total jarak terpendek yang akan terpilih.

4.10.2 Hasil penerapan algoritma pada penjadwalan distribusi dengan menggunakan program

Algoritma koloni semut diterapkan dengan menggunakan program Matlab. Data jarak antar lokasi perusahaan dan 7 *customer* yang dijadwalkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.18 Jarak antar lokasi yang dijadwalkan

d_{ij}	PT.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT.	0	27	13	18	38	5,5	18	23
C1	27	0	14	33	39	25	27	29
C2	13	14	0	23	32	12	17	18
C3	18	33	23	0	49	17	6	7
C4	38	39	32	49	0	33	48	51
C5	5,5	25	12	17	33	0	18	23
C6	18	27	17	6	48	18	0	5,2
C7	23	29	18	7	51	23	5,2	0

Tabel 4.19 Nilai visibility delapan lokasi

$\frac{n_{ij}(t)}{d_{ij}}$	PT.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PT.	0	0.03703	0.07692	0.05555	0.02631	0.18181	0.05555	0.04347
C1	0.03703	0	0.07142	0.03030	0.02564	0.04	0.03703	0.03448
C2	0.076923	0.07142	0	0.04347	0.03125	0.08333	0.05882	0.05555
C3	0.055555	0.03030	0.04347	0	0.02040	0.05882	0.16666	0.14285
C4	0.026315	0.02564	0.0312	0.02040	0	0.03030	0.02083	0.01960
C5	0.181818	0.04	0.08333	0.05882	0.03030	0	0.05555	0.04347
C6	0.055555	0.03703	0.05882	0.16666	0.02083	0.05555	0	0.19230
C7	0.043478	0.03448	0.05555	0.14285	0.01960	0.04347	0.19230	0

Hasil dari percobaan-percobaan yang dilakukan akan disajikan pada pembahasan berikut.

Percobaan ke-1

Pada percobaan pertama, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 100$ (intensitas *pheromone* di setiap jalur)

$\alpha = 0,5$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 0,5$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 1000$ (konstanta)

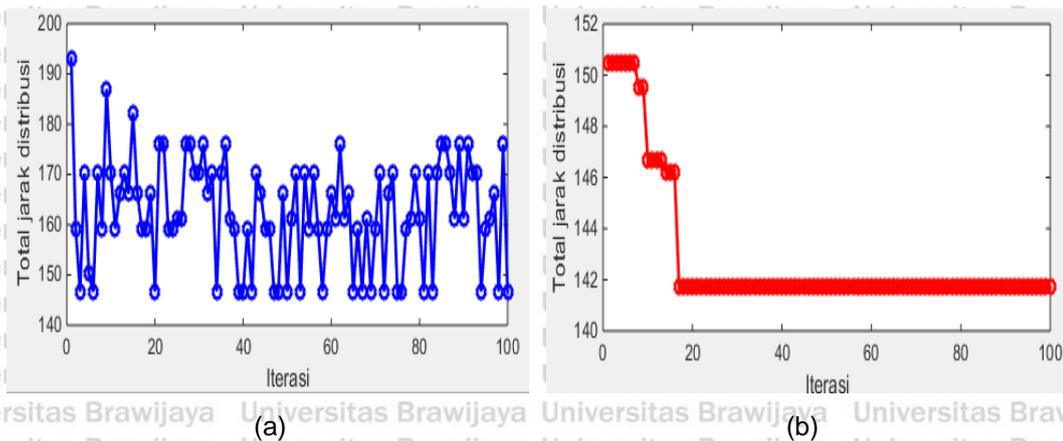
$k = 10$ (jumlah semut yang digunakan)

$C_{max} = 100$ (maksimum iterasi)

Tabu list awal: PT –

S_k : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7

Hasil dari percobaan ke-1 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.37 berikut.



(a) (b)
Gambar 4.37 Percobaan ke-1 penjadwalan distribusi

Gambar 4.37 (a) adalah percobaan pertama yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.37 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Dengan menggunakan nilai parameter, jumlah semut, dan jumlah iterasi yang sama, didapatkan hasil penjadwalan menggunakan modifikasi koloni semut lebih baik disbanding metode koloni semut biasa. Jarak tempuh yang dihasilkan menggunakan modifikasi koloni adalah 141,7 km dengan rute distribusi PT-C5-C4-C2-C1-C6-C7-C3-PT, sedangkan dengan menggunakan metode koloni semut biasa, jarak tempuh minimumnya adalah 146,7 km dengan rute distribusi PT-C3-C6-C7-C1-C4-C2-C5-PT. Selain jarak tempuh yang lebih minimum, modifikasi koloni semut juga menghasilkan solusi yang lebih stabil.

Tabu list : PT-C6-C3-C7-C1-C2-C4-C5

S_k kosong

Total jarak tempuh distribusi minimum yang didapatkan dari percobaan ini adalah 141,7 km dengan rute PT-C5-C4-C2-C1-C6-C7-C3-PT.

Percobaan ke-2

Pada percobaan kedua, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 100$ (intensitas *pheromone* di setiap jalur)

$\alpha = 0,5$ (tetapan pengendali intensitas *pheromone*)

$\beta = 0,5$ (tetapan pengendali *visibility*)

$\rho = 0,5$ (tingkat evaporasi *pheromone*)

$Q = 1000$ (konstanta)

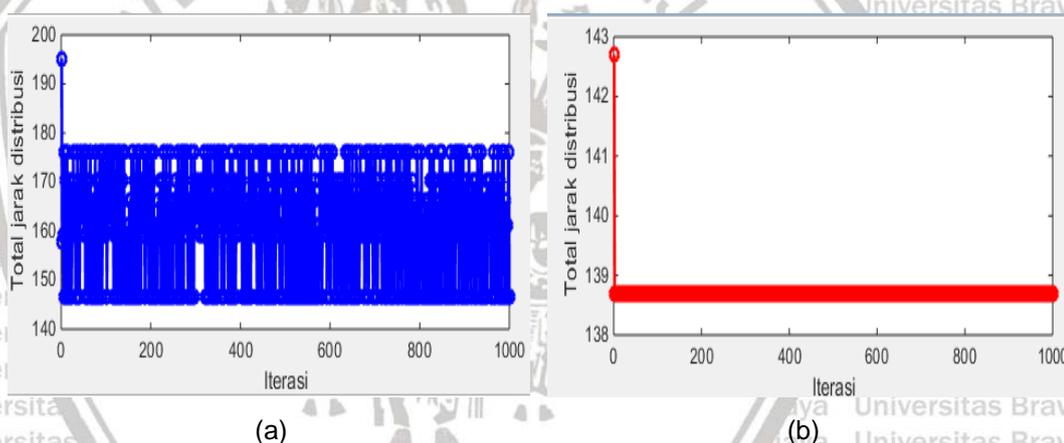
$k = 100$ (jumlah semut yang digunakan)

$C_{max} = 1000$ (maksimum iterasi)

Tabu list awal: PT –

S_k : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7

Hasil dari percobaan ke-2 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.38 berikut.



Gambar 4.38 Percobaan ke-2 penjadwalan distribusi

Gambar 4.38 (a) adalah percobaan kedua yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.38 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Pada percobaan ini, hasil yang didapatkan dengan menggunakan modifikasi koloni semut semakin optimal. Berdasarkan Gambar 4.38 (b), terlihat bahwa pada iterasi kedua sudah didapatkan jarak tempuh minimum, yaitu 138,7 km, dengan rute distribusi PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT, sedangkan dengan menggunakan

metode koloni semut biasa, jarak tempuh minimumnya adalah 145,7 km dengan rute distribusi PT-C5-C3-C7-C6-C1-C2-C4-PT. Pada percobaan ini dapat dibandingkan dari kedua metode, baik jarak tempuh yang dihasilkan maupun kestabilan solusi, modifikasi koloni semut memberikan hasil yang lebih baik.

Tabu list : PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5

S_k kosong

Total jarak tempuh distribusi minimum yang didapatkan dari percobaan ini adalah 138,7 km dengan rute PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT.

Percobaan ke-3

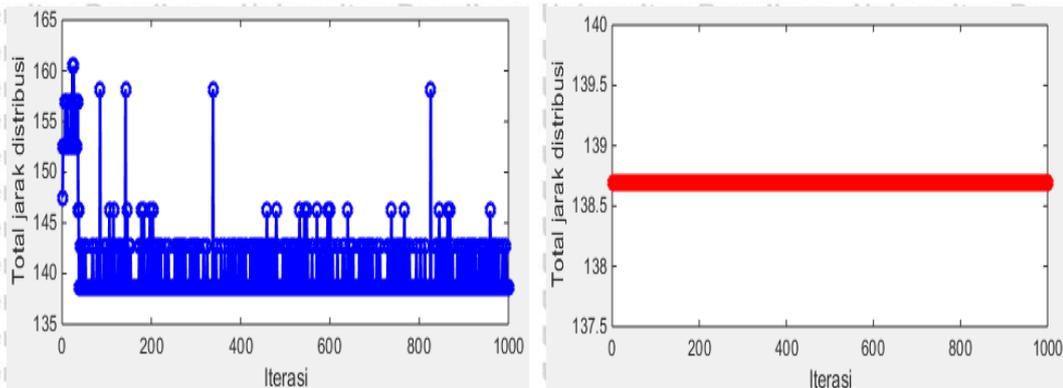
Pada percobaan ketiga, nilai parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut.

$\tau_{ij} = 100$	(intensitas <i>pheromone</i> di setiap jalur)
$\alpha = 0,5$	(tetapan pengendali intensitas <i>pheromone</i>)
$\beta = 0,5$	(tetapan pengendali <i>visibility</i>)
$\rho = 0,5$	(tingkat evaporasi <i>pheromone</i>)
$Q = 1000$	(konstanta)
$k = 1000$	(jumlah semut yang digunakan)
$C_{max} = 1000$	(maksimum iterasi)

Tabu list awal: PT –

S_k : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7

Hasil dari percobaan ke-3 yang dilakukan dengan menggunakan program di matlab disajikan pada Gambar 4.39 berikut.



(a) (b)
Gambar 4.39 Percobaan ke-3 penjadwalan distribusi

Gambar 4.39 (a) adalah percobaan ketiga yang diselesaikan dengan menggunakan program koloni semut, sedangkan Gambar 4.39 (b) menggunakan program modifikasi koloni semut. Pada percobaan ini, digunakan jumlah semut dan iterasi yang lebih banyak, yaitu $k = 1000$ dan $C_{max} = 1000$. Kedua metode menghasilkan jarak temuh minimum yang sama, yaitu 138,7 km dengan rute PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT, namun kestabilan solusi tampak jelas pada penjadwalan menggunakan modifikasi koloni semut. Berdasarkan Gambar 4.39 (b), solusi optimal telah didapatkan sejak iterasi pertama.

Tabu list : PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5

S_k kosong

Total jarak tempuh distribusi minimum yang didapatkan dari percobaan ini adalah 138,7 km dengan rute PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT.

Dari ketiga percobaan yang dilakukan, terlihat bahwa modifikasi koloni semut memiliki keunggulan dibandingkan metode koloni semut biasa. Keunggulan yang tampak adalah dalam hal kestabilan solusi dan kemampuan mendapatkan solusi yang lebih baik. Pada percobaan pertama, dengan menggunakan 10 semut dan 100 iterasi, didapatkan total jarak tempuh distribusi 141,7 km dengan rute PT-C5-C4-C2-C1-C6-C7-C3-PT. Pada percobaan kedua, dengan

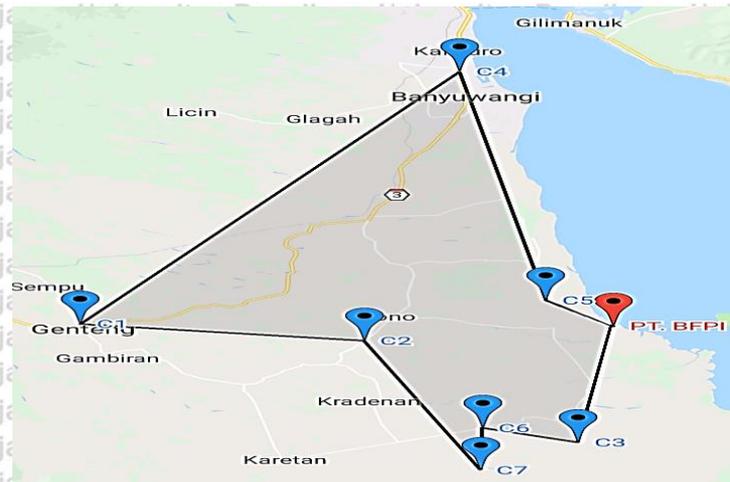
menggunakan 100 semut dan 1000 iterasi, didapatkan total jarak tempuh distribusi 138,7 km dengan rute PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT. Pada percobaan ketiga, dengan menggunakan 1000 semut dan 1000 iterasi, didapatkan total jarak tempuh distribusi 138,7 km dengan rute PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT. Dari ketiga perboaan di atas, rute optimal yang didapatkan pada penjadwalan distribusi adalah PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT dengan total jarak tempuh distribusi adalah 138,7 km. Dengan menggunakan persamaan (2.6) dan b_2 sebesar Rp 1.750,00 per km, diperoleh biaya distribusi optimal adalah Rp 242.725,00.

Hasil perbandingan jadwal distribusi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi ditunjukkan dalam Tabel 4.20. Perbandingan dilihat dari dua faktor, yaitu jarak tempuh distribusi dan biaya distribusi.

Tabel 4.20 Perbandingan jadwal distribusi sebelum dan sesudah optimasi

No	Faktor Pemanding	Sebelum Optimasi (PT-C5-C2-C1-C6-C7-C3-C4-PT)	Sesudah Optimasi (PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT atau PT-C5-C4-C1-C2-C7-C6-C3-PT)	Jumlah Penurunan
1	Jarak tempuh distribusi	157,7 km	138,7 km	19 km
2	Biaya distribusi	Rp 275.975,00	Rp 242.725,00	Rp 33.250,00

Setelah dilakukan optimasi, total jarak tempuh distribusi adalah 138.7 km, sedangkan total jarak sebelumnya adalah 157.7 km. Terdapat pengurangan jarak tempuh sejauh 19 km. Biaya distribusi sebelum optimasi adalah Rp 275.975,00 dan setelah dilakukan optimasi menjadi Rp 242.725,00, terjadi penghematan biaya distribusi sebesar Rp 33.250,00. Perbedaan total jarak tempuh distribusi sangat bergantung pada rute pengiriman, sehingga pemilihan urutan *customer* yang akan dikunjungi sangat penting untuk mendapatkan jarak tempuh distribusi dan biaya distribusi yang optimal.



Gambar 4.40 Rute distribusi setelah optimasi

Gambar 4.40 merupakan rute optimal dari penjadwalan distribusi yang dilakukan. Urutan pengiriman adalah PT–C3–C6–C7–C2–C1–C4–C5–PT atau PT–C5–C4–C1–C2–C7–C6–C3–PT, dengan total jarak tempuh 138,7 km.

4.11 Total Biaya Produksi dan Distribusi

Total biaya produksi dan distribusi dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (2.8) dengan nilai b_1 dan b_2 yang sudah diketahui. Total biaya minimum yang diperoleh adalah sebesar Rp 1.317.285,00. Setelah dilakukan optimasi, hasil yang didapatkan dibandingkan dengan data dari PT. Blambangan Foodpackers Indonesia sebelum optimasi. Perbandingan total biaya dapat dilihat dalam Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.21 Perbandingan total biaya sebelum dan sesudah optimasi

No	Faktor Pemanding	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Jumlah Penurunan	Prosentase penurunan
1	Biaya produksi	Rp 1.252.120,00	Rp 1.074.560,00	Rp 177.560,00	14,2%
2	Biaya distribusi	Rp 275.975,00	Rp 242.725,00	Rp 33.250,00	12%
3	Total Biaya	Rp 1.528.095,00	Rp 1.317.285,00	Rp 210.810,00	13,8%

Dalam satu kali proses produksi, biaya produksi dapat ditekan sampai 14,2% dengan jumlah penurunan biaya produksi sebesar Rp 177.560,00. Dalam satu kali proses pengiriman produk, biaya distribusi dapat ditekan sampai 12% dengan jumlah penurunan biaya distribusi sebesar Rp 33.250,00. Total biaya yang

dikeluarkan sebelum dilakukan optimasi adalah sebesar Rp 1.528.095,00, sedangkan setelah dilakukan optimasi, total biaya menjadi Rp 1.317.285,00.

Diperoleh hasil yang positif dari optimasi yang dilakukan, yaitu penurunan total biaya produksi dan distribusi sebesar Rp 210.810,00.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Penerapan modifikasi koloni semut pada penjadwalan produksi memberikan hasil yang positif. Dalam satu kali proses produksi, total waktu produksi dapat dihemat selama 193 menit dengan jadwal produksi optimal adalah J4-J1-J3-J2.
2. Penerapan modifikasi koloni semut pada penjadwalan distribusi juga memberikan hasil yang positif. Dalam satu kali proses pengiriman produk, total jarak tempuh distribusi dapat diminimumkan sejauh 19 km dengan jadwal distribusi optimal adalah PT-C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5-PT atau PT-C5-C4-C1-C2-C7-C6-C3-PT.
3. Modifikasi algoritma koloni semut sesuai untuk diaplikasikan pada penjadwalan produksi dan distribusi yang terintegrasi, khususnya yang telah diteliti pada PT. Blambangan Foodpackers Indonesia. Penjadwalan produksi dan distribusi menggunakan modifikasi algoritma koloni semut memberikan hasil yang baik, dimana total biaya dapat ditekan sampai 13,8% dengan penurunan total biaya produksi dan distribusi sebesar Rp 210.810,00.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan pada Subbab diatas, maka saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk menjamin didapatkannya hasil yang optimal dalam satu kali percobaan, sebaiknya menggunakan jumlah semut dan iterasi yang lebih banyak, misalnya jumlah semut 100 dan iterasi 1000.

2. Peneliti selanjutnya dapat mengembangkan metode ini untuk diterapkan pada permasalahan optimasi yang lebih kompleks, misalnya dengan memperhitungkan *maintanance* pada mesin produksi ataupun penambahan kendala, seperti kemacetan, pada rute distribusi.



DAFTAR PUSTAKA

- Aldous, J. M. dan Robin, J. W. 2003. *Graphs and Applications: an Introductory Approach*, Great Britian: Springer.
- Anton, H. dan Rorres, C. 2004. *Aljabar Linear Elementer Edisi Kedelapan*, Jakarta: Erlangga.
- Arman, N. H. 1999. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Guna Wijaya.
- Assauri, S. 1998. *Manajemen Produksi dan Operasi*, Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Azmi, M. H., Sugiono, dan Tantrika, C. F. M. 2015. Penjadwalan Produksi Rokok untuk Meminimalkan Maximum Tardiness menggunakan Algoritma Simulated Annealing (Studi Kasus di PR. Adi Bungsu Malang), *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*. 3(2): 353-362.
- Baker, K. R. 1974. *Introduction To Sequencing and Scheduling*, Jhon Willey and Sons, Inc. New York.
- Baker, K.R. dan Trietsch, D. 2009. *Principles Of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Bauer, A. 1999. *An Ant Colony Optimization Approach for The Single Machine Total Tardiness Problem*, Departement of Management Science University of Vienna.
- Bedworth, D. D. dan Bailey, J. E. 1987. *Intregated Production Control Systems: Management, Analysis, Design 2ed*. John Wiley and Sons Inc, New York.

Berlianty, I. dan Arifin, M. 2010. *Teknik-Teknik Optimasi Heuristik*, Yogyakarta: Graha Ilmu.

brez, T. 2004. *Ant Colony Optimizaton*, Cambridge: MIT Press.

Brezina, I. dan Cickova, Z. 2011. Solving the Travelling Salesman Problem Using the Ant Colony Optimization, *Management Information Systems*. 6(4): 10-14.

Cheng, B., Leung, J. Y. T., dan Li, K. 2015. Integrated Scheduling of Production and Distribution to Minimize Total Cost using an Improved Ant Colony Optimization Method, *Computers & Industrial Engineering*, 83: 217-225.

Cheng, B., Wang, Q., Yang, S. dan Hu, X. 2013. An Improved Ant Colony Optimization for Scheduling Identical Parallel Batching Machines with Arbitrary Job Sizes, *Applied Soft Computing*, 13: 765-772.

Conway, R. W., Maxwell, W. L., dan Miller L. W. 2001. *Theory of Scheduling*. America: Addison-Wesley Publishing Company.

Cui, W., Lu, Z., Li, C., dan Han, X. 2018. A proactiv Pproach to Solve Integrated Production Scheduling And Maintenance Planning Problem in Flow Shops, *Computers & Industrial Engineering*, 115: 342-353.

Florez, E., Gomez, W., dan Bautista, L. 2013. Ant Colony Optimization Algorithm for Job Shop Scheduling Problem, *International Journal of Artificial Intellegence & Applications*. 4(4):53-66.

Garrido, A., Salido, A., Barber, F., dan Lopez, M. A. 2000. Heuristic Methods for Solving Job-Shop Scheduling Problems. ECAI-2000 Workshop on New Results in Planning, Scheduling and Design.

Harry, S. dan Syamsudin, N. 2011. Penerapan Supply Chain Management pada Proses Management Distribusi dan Transportasi untuk Meminimasi Waktu dan Biaya Pengiriman. *Jurnal Poros Teknik*. 3(1): 26-33.

Haupt, R. L. dan Haupt, S. E. 2004. *Practical Genetic Algorithms Second Edition*, Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Herjanto, E. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi Edisi Kedua*, Jakarta: Grasindo.

Herjanto, E. 2008. *Manajemen Operasi Edisi Kedua*, Jakarta: Grasindo.

Husen, A. 2009. *Manajemen Proyek: Perencanaan Penjadwalan & Pengendalian*, Yogyakarta: Andi Offset.

Indra, S. K., Susi, S., dan Hari, A. 2014. Usulan Rute Pendistribusian Air Mineral dalam Kemasan Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Clarke & Wriht Savings (Studi Kasus di PT. X Bandung), *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. 1(2): 125-136.

Kotler, P. 1997. *Manajemen Pemasaran Analisis Perencanaan, Implementasi dan Pengendalian*, Jakarta: Salemba Empat.

Lee, H. dan Kim, S. S. 2001. Integration of Process Planing and Scheduling Using Simulation Based Genetic Algorithms, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18(8): 586-590.

Masruroh, N. 2012. Analisa Penjadwalan Produksi dengan Menggunakan Metodee Ampbell Dudeck Smith, Palmer, dan Dannenbring di PT. Loka Refraktoris Surabaya. *Jurnal Teknik Industri*, UPN Veteran.

Mathiyalagan, P., Suriya, S. dan Sivanandam, S. N. 2010. Modified Ant Colony Algorithm for Grid Scheduling, *International Journal on Computer Science and Engineering*. 2(3): 132-139.

Narendhar, S. dan Amudha, T. 2012. A Hybrid Bacterial Foraging Algorithm for Solving Job Shop Scheduling Problem, *International Journal of Programming Languages and Applications*. 2(4): 1-11.

Nicora, E. 2012. Job Shop Scheduling using ACO Meta-heuristic with Waiting Time-based Pheromone Updating, *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*. 3(8):1265-1270.

Pinedo, M. 2002. *Scheduling: Theory, Algorithm and System*, Prantice Hall, New Jersey.

Prihatinie, D. 2017. Penyelesaian Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) Menggunakan Metode Insertion Heuristic. Malang: FMIPA UM.

Rajendran, C. dan Hans Z. 2002. *Ant-Colony Algorithms for Permutation Flowshop Scheduling to Minimize Makespan/Total Flowtime of Jobs*, University of Passau, Germany.

Schroeder, R. G. 2000. *Operations Management: Contemporary Concepts and Cases, International Edition*, Mc Graw-Hill Companies, Inc., Boston.

Simarmata, D. M. 2018. Traveling Salesman Problem untuk Rute Tercepat dengan Program Dinamik. Medan: FMIPA UNSU.

Sugiyono. 2007. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Susiswo. 2008. *Teori Peluang*, Malang: UM Press.

Toth, P. dan Vigo, D. 2002. The Vehicle Routing Problem. *SIAM Monographs on Discrete Mat.*

Utari, S. 2008. Usulan Penjadwalan Produksi Produk Main Frame pada Mesin Punch Exentrik di PT. Beton Perkasa Wijaksana, Jakarta: Fakultas Teknik UPN Veteran.

Uttari, S. 2008. Produk Main Frame pada Mesin Punch Exentrik di PT Beton Perkasa Wijaksana. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional.

Widodo, C. E. 2014. Optimasi Penjadwalan Mesin Produksi dengan Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) pada Perusahaan Manufaktur. Yogyakarta: FMIPA UNY.

Wikipedia, Feromon, <https://id.wikipedia.org/wiki/Feromon/> (diakses 27 Oktober 2018).

Winardi. 1989. *Strategi Pemasaran (Marketing Strategy)*, Bandung : Mandar Maju.

Yeun, L. C., Ismail, W. R., Omar, K., dan Zirour, M. 2008. Vehicle Routing Problem: Models and Solutions, *Journal of Quantity Measurement and Analysis*. 4(1): 205-218.

Yu, B., Yang, Z., dan Yao, B. 2009. An Improved Ant Colony Optimization for Vehicle Routing Prolem, *Europian Journal of Operation Research*. 196(1): 171-176.

19 0673 T



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
PASCASARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor: 1119/UN10.F40/PN/2019

Sertifikat ini diberikan kepada:

Nama : Mita Akbar Sukmarini
NIM : 176090400111013
Program Studi : Program Magister Matematika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas : Universitas Brawijaya

Dengan Judul Tesis

Penjadwalan Produksi dan Distribusi yang Terintegrasi untuk Meminimalkan Total Biaya dengan Menggunakan Modifikasi Koloni Semut (Studi kasus PT. Blambangan Foodpackers Indonesia)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya secara online pada tanggal **23 Mei 2019**
dan dinyatakan **bebas plagiasi** dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$.

Malang, 24 Mei 2019
Ketua Badan Penerbitan Jurnal

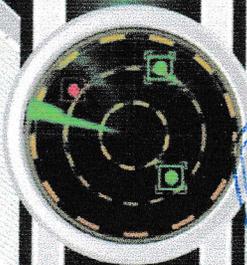
Direktur

Dr. Marjono, M.Phil
NIP. 195911164988031004

Indah Yanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19791129 200501 2 0026

plagiarism-detector

Cutting-edge class tool for plagiarism detection and prevention



Lampiran 1: Validasi hasil penjadwalan produksi

Data waktu penyelesaian setiap *job* pada masing-masing mesin (dalam satuan menit) terdapat pada tabel dibawah ini.

Job	Mesin			
	M1	M2	M3	M4
J1	180	215	82	362
J2	310	84	80	115
J3	240	93	40	75
J4	135	184	85	193

Total waktu produksi dihitung dengan rumus berikut.

Misalkan

- U1 adalah matriks(4x1) yang menyatakan urutan waktu penyelesaian *job* pada mesin 1
- U2 adalah matriks(4x1) yang menyatakan urutan waktu penyelesaian *job* pada mesin 2
- U3 adalah matriks(4x1) yang menyatakan urutan waktu penyelesaian *job* pada mesin 3
- U4 adalah matriks(4x1) yang menyatakan urutan waktu penyelesaian *job* pada mesin 4
- WM1, WM1, WM1, dan WM1 adalah matriks(4x1) yang digunakan untuk menentukan total waktu produksi

$$WM1(1,1)=U1(1,1)$$

$$WM1(2,1)=U1(1,1)+U1(2,1)$$

$$WM1(3,1)=WM1(2,1)+U1(3,1)$$

$$WM1(4,1)=WM1(3,1)+U1(4,1)$$

$$WM2(2,1)=U2(1,1)+U2(2,1)$$

$$WM2(3,1)=WM2(2,1)+U2(3,1)$$

$$WM2(4,1)=WM2(3,1)+U2(4,1)$$

$$WM3(2,1)=U3(1,1)+U3(2,1)$$

$$WM3(3,1)=WM3(2,1)+U3(3,1)$$

$$WM3(4,1)=WM3(3,1)+U3(4,1)$$

$$WM4(2,1)=U4(1,1)+U4(2,1)$$

$$WM4(3,1)=WM4(2,1)+U4(3,1)$$

$$WM4(4,1)=WM4(3,1)+U4(4,1)$$

$$WM2(1,1)=U1(1,1)+U2(1,1)$$

$$WM3(1,1)=WM2(1,1)+U3(1,1)$$

$$WM4(1,1)=WM3(1,1)+U4(1,1)$$

$$WM2(2,1) = \begin{cases} WM1(2,1) + U2(2,1), & \text{jika } WM1(2,1) \geq WM2(1,1) \\ WM2(1,1) + U2(2,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM2(3,1) = \begin{cases} WM1(3,1) + U2(3,1), & \text{jika } WM1(3,1) \geq WM2(2,1) \\ WM2(2,1) + U2(3,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM2(4,1) = \begin{cases} WM1(4,1) + U2(4,1), & \text{jika } WM1(4,1) \geq WM2(3,1) \\ WM2(3,1) + U2(4,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM3(2,1) = \begin{cases} WM2(2,1) + U3(2,1), & \text{jika } WM2(2,1) \geq WM3(1,1) \\ WM3(1,1) + U3(2,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM3(3,1) = \begin{cases} WM2(3,1) + U3(3,1), & \text{jika } WM2(3,1) \geq WM3(2,1) \\ WM3(2,1) + U3(3,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM3(4,1) = \begin{cases} WM2(4,1) + U3(4,1), & \text{jika } WM2(4,1) \geq WM3(3,1) \\ WM3(3,1) + U3(4,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM4(2,1) = \begin{cases} WM3(2,1) + U4(2,1), & \text{jika } WM3(2,1) \geq WM4(1,1) \\ WM4(1,1) + U4(2,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM4(3,1) = \begin{cases} WM3(3,1) + U4(3,1), & \text{jika } WM3(3,1) \geq WM4(2,1) \\ WM4(2,1) + U4(3,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$WM4(4,1) = \begin{cases} WM3(4,1) + U4(4,1), & \text{jika } WM3(4,1) \geq WM4(3,1) \\ WM4(3,1) + U4(4,1), & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

Total waktu produksi = WM4(4,1)

Sebagai contoh, akan dihitung total waktu produksi dari jadwal J1 – J2 – J3 – J4

$$U1 = \begin{bmatrix} 180 \\ 310 \\ 240 \\ 135 \end{bmatrix}, U2 = \begin{bmatrix} 215 \\ 84 \\ 93 \\ 184 \end{bmatrix}, U3 = \begin{bmatrix} 82 \\ 80 \\ 40 \\ 85 \end{bmatrix}, \text{ dan } U4 = \begin{bmatrix} 362 \\ 115 \\ 75 \\ 193 \end{bmatrix}$$

$$WM1(1,1)=180$$

$$WM1(2,1)=490$$

$$WM1(3,1)=730$$

$$WM1(4,1)=865$$

$$WM2(2,1)=299$$

$$WM2(3,1)=392$$

$$WM2(4,1)=576$$

$$WM3(2,1)=162$$

$$WM3(3,1)=202$$

$$WM3(4,1)=287$$

$$WM4(2,1)=477$$

$$WM4(3,1)=552$$

$$WM4(4,1)=745$$

$$WM2(1,1)=395$$

$$WM3(1,1)=477$$

$$WM4(1,1)=839$$

Karena $WM1(2,1) > WM2(1,1)$, sehingga

$$WM2(2,1) = WM1(2,1) + U2(2,1) = 574$$

Karena $WM1(3,1) > WM2(2,1)$, sehingga
 $WM2(3,1) = WM1(3,1) + U2(3,1) = 823$

Karena $WM1(4,1) > WM2(3,1)$, sehingga
 $WM2(4,1) = WM1(4,1) + U2(4,1) = 1049$

Karena $WM2(2,1) > WM3(1,1)$, sehingga
 $WM3(2,1) = WM2(2,1) + U3(2,1) = 654$

Karena $WM2(3,1) > WM3(2,1)$, sehingga
 $WM3(3,1) = WM2(3,1) + U3(3,1) = 863$

Karena $WM2(4,1) > WM3(3,1)$, sehingga
 $WM3(4,1) = WM2(4,1) + U3(4,1) = 1134$

Karena $WM3(2,1) < WM4(1,1)$, sehingga
 $WM4(2,1) = WM4(1,1) + U4(2,1) = 954$

Karena $WM3(3,1) < WM4(2,1)$, sehingga
 $WM4(3,1) = WM4(2,1) + U4(3,1) = 1029$

Karena $WM3(4,1) > WM4(3,1)$, sehingga
 $WM4(4,1) = WM3(4,1) + U4(4,1) = 1327$

Total waktu produksi dari jadwal J1 – J2 – J3 – J4 adalah 1327 menit.

Dengan cara yang sama, dihitung total waktu produksi untuk 23 kemungkinan urutan *job* lainnya, dan hasilnya disajikan dalam tabel berikut.

Kemungkinan ke	Urutan <i>job</i>	Total waktu produksi
1	J1 – J2 – J3 – J4	1327 menit
2	J1 – J2 – J4 – J3	1222 menit
3	J1 – J3 – J2 – J4	1327 menit
4	J1 – J3 – J4 – J2	1222 menit
5	J1 – J4 – J2 – J3	1222 menit
6	J1 – J4 – J3 – J2	1222 menit
7	J2 – J1 – J3 – J4	1417 menit
8	J2 – J1 – J4 – J3	1417 menit
9	J2 – J3 – J1 – J4	1582 menit
10	J2 – J3 – J4 – J1	1528 menit
11	J2 – J4 – J1 – J3	1363 menit
12	J2 – J4 – J3 – J1	1524 menit
13	J3 – J1 – J2 – J4	1387 menit
14	J3 – J1 – J4 – J2	1387 menit
15	J3 – J2 – J1 – J4	1582 menit
16	J3 – J2 – J4 – J1	1528 menit
17	J3 – J4 – J1 – J2	1333 menit
18	J3 – J4 – J2 – J1	1524 menit
19	J4 – J1 – J2 – J3	1168 menit
20	J4 – J1 – J3 – J2	1168 menit
21	J4 – J2 – J1 – J3	1359 menit
22	J4 – J2 – J3 – J1	1524 menit
23	J4 – J3 – J1 – J2	1329 menit
24	J4 – J3 – J2 – J1	1524 menit

Untuk memeriksa kevalidan, hasil penjadwalan dengan menggunakan program dibandingkan dengan perhitungan secara manual. Dari tabel di atas, diketahui total waktu produksi minimum dari hasil perhitungan manual adalah 1168 menit, yaitu pada kemungkinan ke-19 dengan urutan *job* J4 – J1 – J2 – J3 dan kemungkinan ke-20 dengan urutan *job* J4 – J1 – J3 – J2. Total waktu produksi minimum yang dihasilkan dengan menggunakan program modifikasi koloni semut sama dengan hasil perhitungan secara manual. Jadi program yang dibuat benar-benar dapat menghasilkan solusi yang optimal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

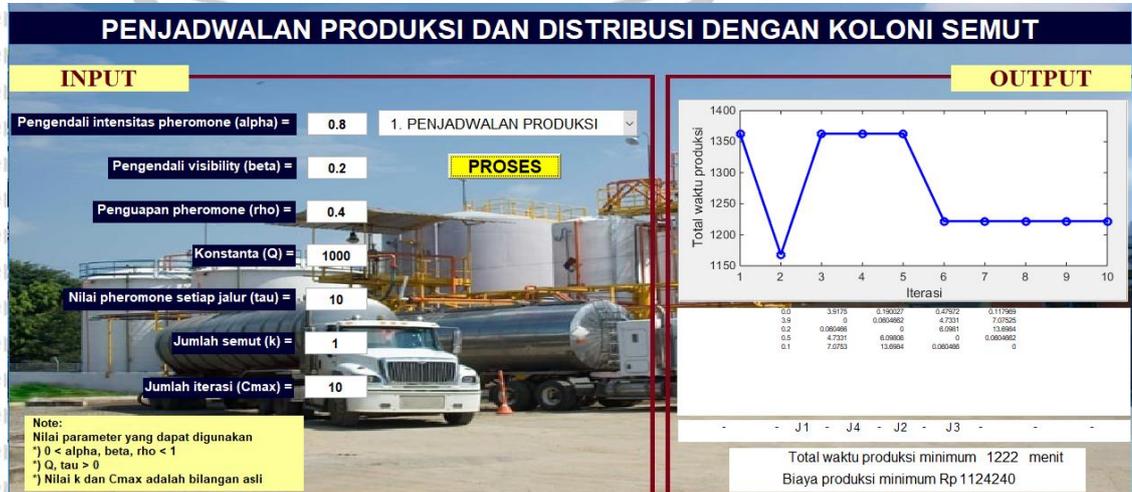
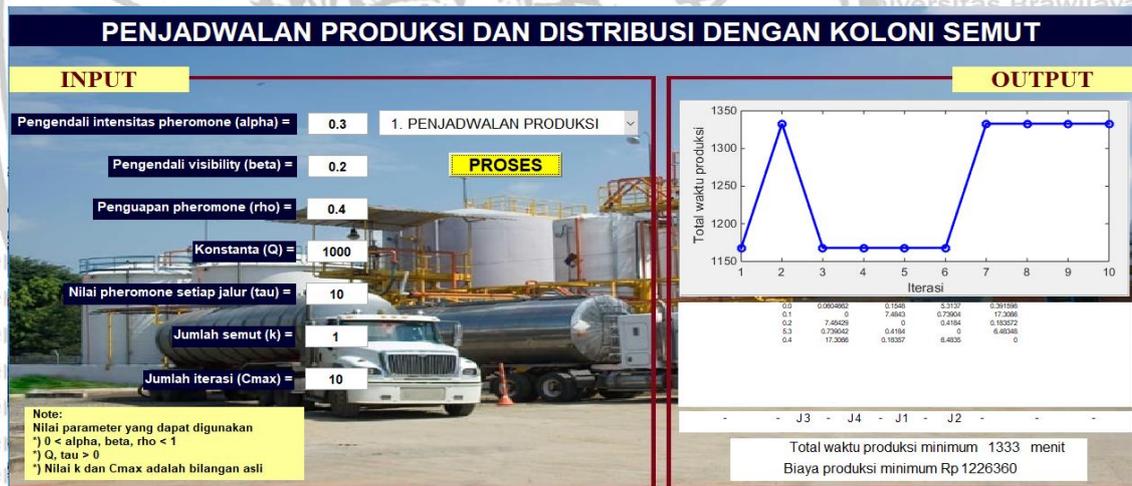


Lampiran 2: Hasil percobaan menggunakan program koloni semut

PENJADWALAN PRODUKSI

No.	Nilai parameter							Urutan Job	Total waktu (menit)	Biaya produksi
	α	β	ρ	Q	τ	k	C_{max}			
1	0,3	0,2	0,4	1000	10	1	10	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-
2	0,8	0,2	0,4	1000	10	1	10	J1-J4-J2-J3	1222	Rp1.124.240,-
3	0,3	0,9	0,4	1000	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
4	0,3	0,2	0,7	1000	10	1	10	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-
5	0,5	0,5	0,5	1000	10	1	10	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-
6	0,5	0,5	0,5	100	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
7	0,5	0,5	0,5	10	10	1	10	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-
8	0,5	0,5	0,5	1000	1000	1	10	J2-J4-J1-J3	1363	Rp1.253.960,-
9	0,5	0,5	0,5	1000	1000	10	10	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-
10	0,5	0,5	0,5	1000	1000	100	100	J4-J1-J2-J3	1168	Rp1.074.560,-
11	0,5	0,5	0,5	1000	1000	1000	1000	J3-J4-J1-J2	1333	Rp1.226.360,-

Tabel di atas berisi rangkuman 11 percobaan yang dilakukan dengan berbagai nilai parameter, jumlah semut, dan jumlah iterasi. Hasil percobaan secara lengkap dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.3

Pengendali visibility (beta) = 0.9

Penguapan pheromone (rho) = 0.4

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:

- *) Nilai parameter yang dapat digunakan
- *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
- *) $Q, \tau > 0$
- *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

Total waktu produksi

0.0	0.701352	1.3142	0.062468	1.8504
0.7	0	0.060486	7.1865	17.4257
1.3	0.060486	0	5.1968	11.8209
0.1	7.18652	5.1968	0	0.015658
1.7	17.4257	11.8209	0.015658	0

- J4 - J1 - J3 - J2 - - -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
Biaya produksi minimum Rp 1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.3

Pengendali visibility (beta) = 0.2

Penguapan pheromone (rho) = 0.7

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:

- *) Nilai parameter yang dapat digunakan
- *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
- *) $Q, \tau > 0$
- *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

Total waktu produksi

0.0	0.00013474	0.21221	0.87726	0.10138
0.0	0	1.6514	0.00036462	1.7048
0.2	1.6514	0	0.10549	5.9046e-05
0.8	0.00036462	0.10549	0	1.4828
0.1	1.7048	5.9046e-05	1.4828	0

- J3 - J4 - J1 - J2 - - -

Total waktu produksi minimum 1333 menit
Biaya produksi minimum Rp 1226360

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:

- *) Nilai parameter yang dapat digunakan
- *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
- *) $Q, \tau > 0$
- *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

Total waktu produksi

0.0	0.041538	0.18184	2.2974	0.17182
0.0	0	4.4203	0.007868	8.1169
0.2	4.4203	0	0.25129	0.009768
2.3	0.007868	0.25129	0	3.7844
0.2	8.1169	0.009768	3.7844	0

- J3 - J4 - J1 - J2 - - -

Total waktu produksi minimum 1333 menit
Biaya produksi minimum Rp 1226360

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 100

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

PROSES

1. PENJADWALAN PRODUKSI

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	0.21257	0.05401	0.02750	0.35995
0.2	0	0.083416	0.06780	2.811
0.1	0.083416	0	1.3104	0.15362
0.0	0.90782	1.3104	0	0.80078
0.4	2.491	0.15362	0.80078	0

- J4 - J1 - J3 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
Biaya produksi minimum Rp1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 10

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

PROSES

1. PENJADWALAN PRODUKSI

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	0.04841	0.02846	0.32682	0.036034
0.0	0	1.0986	0.2087	1.818
0.0	1.0086	0	0.17155	0.069784
0.5	0.2087	0.17155	0	0.84377
0.0	1.818	0.069784	0.84377	0

- J3 - J4 - J1 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1333 menit
Biaya produksi minimum Rp1226360

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 1000

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

PROSES

1. PENJADWALAN PRODUKSI

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	5.95025	7.56048	2.28025	0.976083
8.0	0	2.71503	11.4632	41.9372
7.8	2.71503	0	6.31435	11.4315
2.2	11.4632	6.31435	0	7.67056
1.0	41.9372	11.4315	7.67056	0

- J2 - J4 - J1 - J3 -

Total waktu produksi minimum 1363 menit
Biaya produksi minimum Rp1253960

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 1000

Jumlah semut (k) = 10

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

PROSES

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	2.3398	1.4667	19.8128	0.0000
2.0	0	20.242	1.46725	60.8793
15.5	20.242	0	2.37751	1.46665
19.5	1.46725	2.37751	0	41.6975
1.0	60.8793	1.46665	41.6975	0

- J3 - J4 - J1 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1333 menit
Biaya produksi minimum Rp 1226360

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 1000

Jumlah semut (k) = 100

Jumlah iterasi (Cmax) = 100

PROSES

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	0.24321	3.4576e-07	4.7099e-08	2.2565
0.0	0	3.6370	1.6101e-26	5.3368
0.0	3.6370	0	5.374	1.7989e-27
0.0	1.6101e-26	5.374	0	0.28027
2.3	5.0088	1.7989e-27	0.28027	0

- J4 - J1 - J2 - J3 -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
Biaya produksi minimum Rp 1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 1000

Jumlah semut (k) = 1000

Jumlah iterasi (Cmax) = 1000

PROSES

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0.0	4.8327e-258	9.3306e-299	1.7930	2.8303e-299
0.0	0	5.5300	2.8302e-299	9.3300
0.0	5.5300	0	5.6057e-298	9.3300e-299
0.0	2.8302e-299	5.6057e-298	0	5.5300
0.0	5.5300	9.3300e-299	5.5300	0

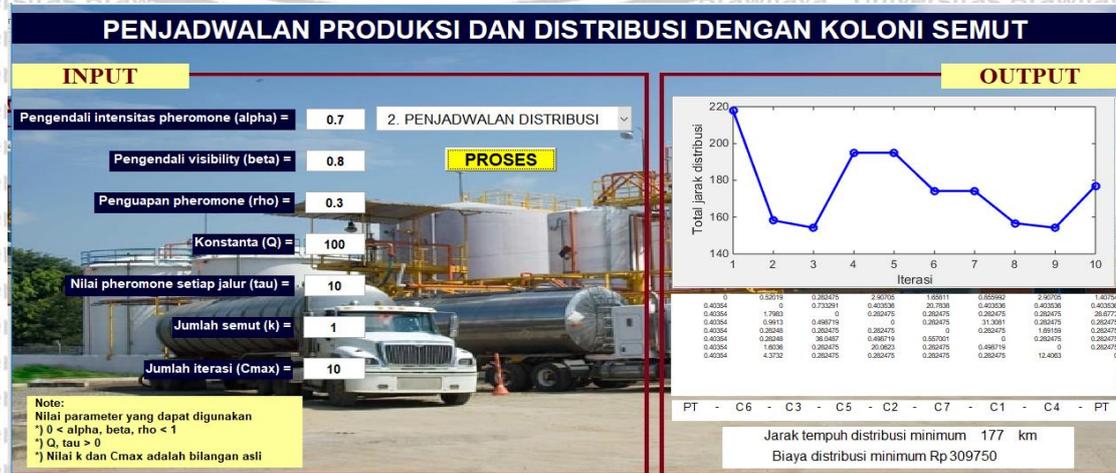
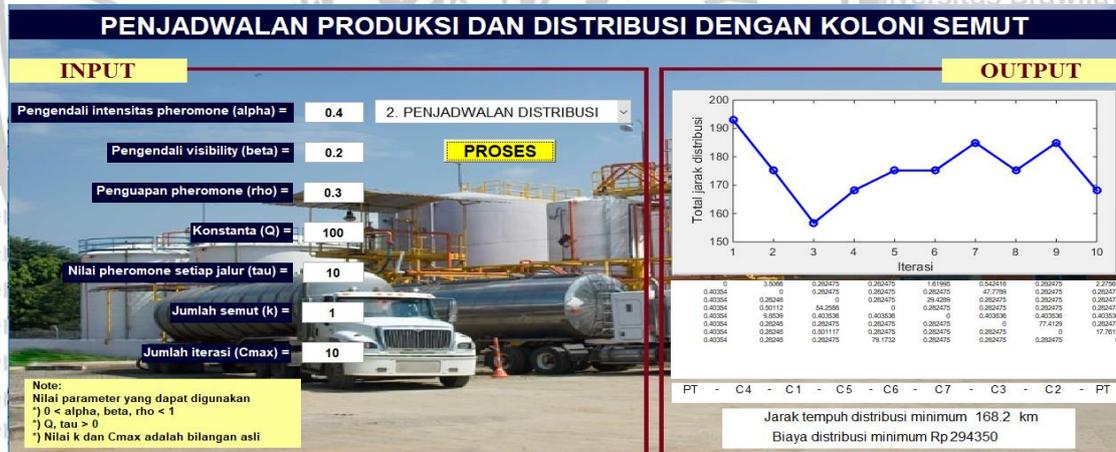
- J3 - J4 - J1 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1333 menit
Biaya produksi minimum Rp 1226360

PENJADWALAN DISTRIBUSI

No.	Nilai parameter							Urutan customer	Total jarak (km)	Biaya distribusi
	α	β	ρ	Q	τ	k	C_{max}			
1	0,4	0,2	0,3	100	10	1	10	C4-C1-C5-C6-C7-C3-C2	168,2	Rp 294.350,-
2	0,7	0,8	0,3	100	10	1	10	C6-C3-C5-C2-C7-C1-C4	177	Rp 309.750,-
3	0,4	0,2	0,7	100	10	1	10	C6-C7-C3-C5-C4-C2-C1	153,2	Rp 268.100,-
4	0,5	0,5	0,5	1000	10	1	10	C5-C3-C6-C7-C1-C4-C2	146,7	Rp 256.725,-
5	0,5	0,5	0,5	1000	100	1	10	C5-C3-C7-C6-C1-C2-C4	145,7	Rp 254.975,-
6	0,5	0,5	0,5	1000	100	10	100	C3-C6-C7-C1-C4-C2-C5	146,7	Rp 256.725,-
7	0,5	0,5	0,5	1000	100	100	100	C2-C1-C4-C6-C7-C3-C5	148,7	Rp 260.225,-
8	0,5	0,5	0,5	1000	100	100	100	C3-C6-C7-C1-C4-C2-C5	146,7	Rp 256.725,-
9	0,5	0,5	0,5	1000	100	1000	1000	C3-C7-C6-C2-C1-C4-C5	138,7	Rp 242.725,-

Tabel di atas berisi rangkuman 9 percobaan yang dilakukan dengan berbagai nilai parameter, jumlah semut, dan jumlah iterasi. Hasil percobaan secara lengkap dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.4** 2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

Pengendali visibility (beta) = **0.2** **PROSES**

Penguapan pheromone (rho) = **0.7**

Konstanta (Q) = **100**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.425698	0.0005418	0.6762	0.20504	0.019638	0.6762	0.0009e-05
0.00019683	0	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05
0.00019683	1.2796	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05
0.00019683	0.0009e-05	0.7897e-05	1.8264	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05
0.00019683	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	0.0009e-05	1.5941	0	0.0009e-05
0.00019683	0.0009e-05						
0.00019683	0.0009e-05						
0.00019683	0.0009e-05						
0.00019683	0.0009e-05						
0.00019683	0.0009e-05						

PT - C6 - C7 - C3 - C5 - C4 - C2 - C1 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 153.2 km
Biaya distribusi minimum Rp268100

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5** 2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

Pengendali visibility (beta) = **0.5** **PROSES**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.425698	0.159684	4.8327	0.0097663	0.8446	4.8327	1.4381
0.019631	0	0.0097663	0.0097663	24.9502	0.0021121	0.0097663	0.0097663
0.019631	0.019631	0	0.019631	0.019631	12.1455	0.019631	0.019631
0.019631	0.0097663	0.0097663	0	0.0242132	0.0097663	12.8966	0.0097663
0.019631	0.0097663	0.0097663	22.7196	0.0097663	0	0.0097663	0.0097663
0.019631	0.0097663	0.0097663	0	0.0097663	21.726	0.0097663	0.0097663
0.019631	0.0097663	0.0242132	0.0097663	0.0097663	0	0.0097663	0.0097663
0.019631	21.1982	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0	14.4202
0.019631	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0242132	0

PT - C5 - C3 - C6 - C7 - C1 - C4 - C2 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 146.7 km
Biaya distribusi minimum Rp256725

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5** 2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

Pengendali visibility (beta) = **0.5** **PROSES**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **100**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.704529	0.0097663	3.4276	0.0097663	11.1162	3.4276	0.0097663
0.19631	0	20.2643	0.19631	0.19631	0.316313	0.316313	0.316313
0.19631	0.892054	0	0.157827	10.3444	0.29985	0.0097663	0.0097663
0.19631	0.0097663	0.0097663	0	0.173208	0.0097663	0.0097663	20.7586
0.19631	0.0097663	1.82683	0.0097663	0	0.157827	0.0097663	0.0097663
0.19631	0.0097663	0.262112	10.8622	3.6963	0	0.0097663	0.0097663
0.19631	19.8078	0.0097663	0.0097663	1.60378	0.0097663	0	14.4202
0.19631	0.0097663	0.0097663	0.17286	0.0097663	0.0097663	20.0184	0
0.19631	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663	0.0097663

PT - C5 - C3 - C7 - C6 - C1 - C2 - C4 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 145.7 km
Biaya distribusi minimum Rp254975

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 100

Jumlah semut (k) = 10

Jumlah iterasi (Cmax) = 100

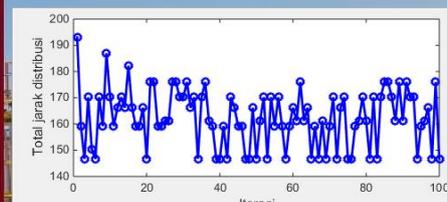
Note:
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

PROSES





0	0.401773	0.146206	10.0555	0.75211	5.24835e-05	10.0555	2.87254
1.5777e-28	0	2.3932e-25	7.8881e-29	21.6984	7.8881e-29	7.8881e-29	1.2352e-28
1.5777e-28	2.82851e-28	0	7.8881e-29	8.16151e-28	27.1582	7.8881e-29	7.8881e-29
1.5777e-28	7.8881e-29	7.8881e-29	0	1.54811e-28	2.92391e-28	24.5152	7.8881e-29
1.5777e-28	1.5777e-28	24.0723	1.5777e-28	0	1.5777e-28	1.5777e-28	1.5777e-28
1.5777e-28	7.8881e-29	2.91833e-28	6.92284	7.8881e-29	0	7.8881e-29	7.8881e-29
1.5777e-28	1.28504e-28	7.8881e-29	7.8881e-29	2.40118e-27	7.8881e-29	0	16.0522
1.5777e-28	22.3419	7.8881e-29	2.8977e-28	5.12359e-26	7.8881e-29	7.8881e-29	0

PT - C3 - C6 - C7 - C1 - C4 - C2 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 146.7 km
Biaya distribusi minimum Rp256725

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 100

Jumlah semut (k) = 100

Jumlah iterasi (Cmax) = 100

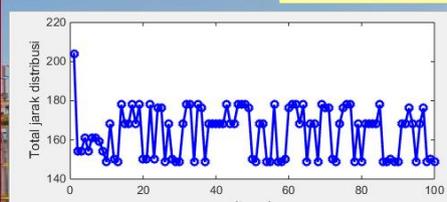
Note:
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

PROSES





0	0.15582	7.8881	4.55257	0.322227	1.89277	4.55257	0.00114281
1.5777e-28	0	1.8504e-28	7.8881e-29	21.3922	7.8881e-29	1.30301e-28	7.8881e-29
1.5777e-28	24.0327	0	7.8881e-29	7.8881e-29	4.40118e-27	7.8881e-29	7.8881e-29
1.5777e-28	1.5777e-28	1.5777e-28	0	1.5777e-28	14.8152	4.74259e-27	1.5777e-28
1.5777e-28	2.30573e-28	7.8615e-28	7.8881e-29	0	7.8881e-29	15.9987	7.8881e-29
1.5777e-28	6.2952e-28	11.0481	2.80772e-27	7.8881e-29	0	7.8881e-29	7.8881e-29
1.5777e-28	7.8881e-29	1.30002e-28	3.29272e-27	7.8881e-29	7.8881e-29	0	27.4312
1.5777e-28	1.43854e-27	6.20999e-28	21.1243	1.28093e-28	7.8881e-29	3.24481e-27	0

PT - C2 - C1 - C4 - C6 - C7 - C3 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 148.7 km
Biaya distribusi minimum Rp260225

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 100

Jumlah semut (k) = 100

Jumlah iterasi (Cmax) = 1000

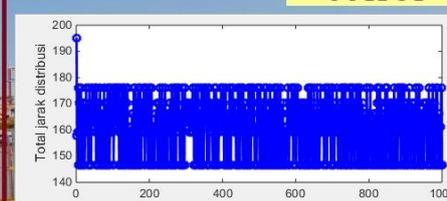
Note:
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

PROSES





0	0.515243	0.0264168	7.0284	0.0117525	0.862014	7.0284	0.02523
1.8885e-28	0	0.32084e-300	0.32084e-300	28.284	0.32084e-300	2.48581e-29	0.32084e-300
1.8885e-28	1.64103e-29	0	0.32084e-300	1.83284e-300	19.9202	0.32084e-300	0.32084e-300
1.8885e-28	1.48523e-29	0.32084e-300	0	1.83284e-300	0	0.32084e-300	0.32084e-300
1.8885e-28	0.32084e-300	28.3217	1.48523e-29	0	0.32084e-300	0.32084e-300	0.32084e-300
1.8885e-28	0.32084e-300	1.64071e-29	11.2658	1.48523e-29	0	0.32084e-300	0.32084e-300
1.8885e-28	0.32084e-300	0.32084e-300	0.32084e-300	0.32084e-300	0.32084e-300	0	12.4113
1.8885e-28	20.4727	1.8885e-29	3.00113e-29	1.8885e-29	1.8885e-29	1.8885e-29	0

PT - C3 - C6 - C7 - C1 - C4 - C2 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 146.7 km
Biaya distribusi minimum Rp256725

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (α) = 0.5

Pengendali visibility (β) = 0.5

Penguapan pheromone (ρ) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (τ) = 100

Jumlah semut (k) = 1000

Jumlah iterasi (C_{max}) = 1000

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan C_{max} adalah bilangan asli

OUTPUT

0	3.30021e-159	3.11045e-12	24.1539	2.62602e-82	0.360073	24.1539	9.33264e-300
1.9865e-299	0	9.33264e-300	9.33264e-300	30.7499	9.33264e-300	1.98716e-200	9.33264e-300
1.9865e-299	30.7499	0	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300
1.9865e-299	9.33264e-300	9.33264e-300	0	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	30.7499
1.9865e-299	9.33264e-300	1.20269e-200	9.33264e-300	0	25.1774	9.33264e-300	9.33264e-300
1.9865e-299	9.33264e-300	4.30747e-200	0.412681	1.52844e-209	0	9.33264e-300	9.33264e-300
1.9865e-299	9.33264e-300	30.7499	0.60495e-200	9.33264e-300	9.33264e-300	0	9.33264e-300
1.9865e-299	1.98653e-299	1.98653e-299	1.98653e-299	0.00573e-293	0.46405e-290	30.7499	0

PT - C3 - C7 - C6 - C2 - C1 - C4 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 138.7 km
Biaya distribusi minimum Rp242725

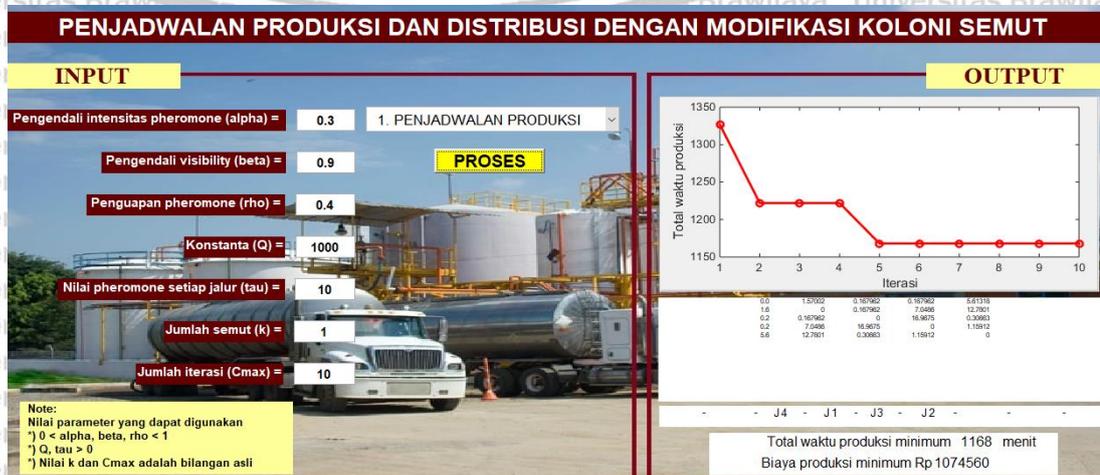
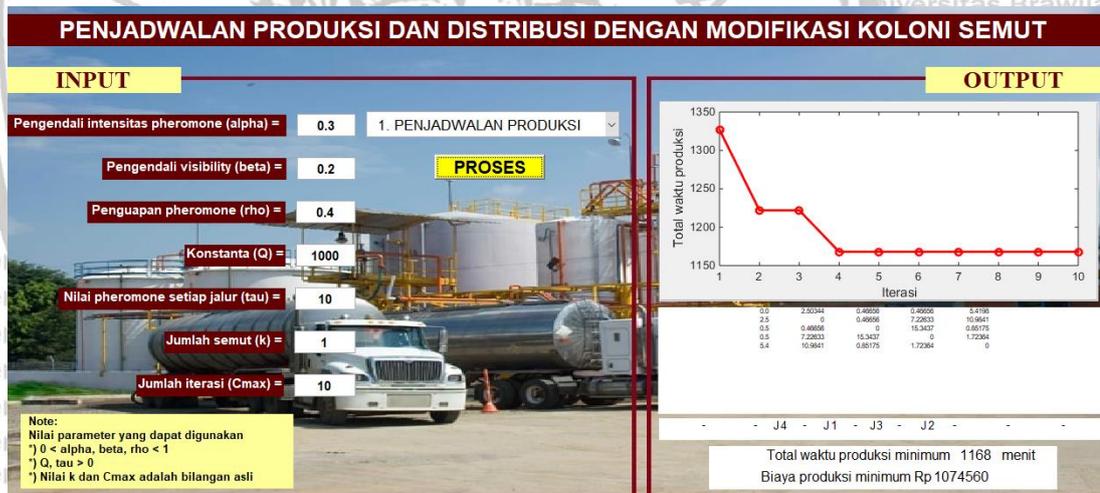


Lampiran 3: Hasil percobaan menggunakan program modifikasi koloni semut

PENJADWALAN PRODUKSI

No.	Nilai parameter							Urutan Job	Total waktu (menit)	Biaya produksi
	α	β	ρ	Q	τ	k	Cmax			
1	0,3	0,2	0,4	1000	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
2	0,3	0,9	0,4	1000	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
3	0,8	0,2	0,4	1000	10	1	10	J4-J1-J2-J3	1168	Rp1.074.560,-
4	0,3	0,2	0,7	1000	10	1	10	J4-J1-J2-J3	1168	Rp1.074.560,-
5	0,5	0,5	0,5	1000	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
6	0,5	0,5	0,5	100	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
7	0,5	0,5	0,5	10	10	1	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
8	0,5	0,5	0,5	1000	1000	1	10	J4-J1-J2-J3	1168	Rp1.074.560,-
9	0,5	0,5	0,5	1000	1000	10	10	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
10	0,5	0,5	0,5	1000	1000	100	100	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-
11	0,5	0,5	0,5	1000	1000	1000	1000	J4-J1-J3-J2	1168	Rp1.074.560,-

Tabel di atas berisi rangkuman 11 percobaan yang dilakukan dengan berbagai nilai parameter, jumlah semut, dan jumlah iterasi. Hasil percobaan secara lengkap dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.8**

Pengendali visibility (beta) = **0.2**

Penguapan pheromone (rho) = **0.4**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

0	0.100777	0.100777	0.309556	10.0195
0.100777	0	17.5368	0.100777	16.4543
0.100777	17.5368	0	11.7535	0.100777
0.309556	0.100777	11.7535	0	0.312339
10.0195	16.4543	0.100777	0.312339	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum **Rp 1074560**

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.3**

Pengendali visibility (beta) = **0.2**

Penguapan pheromone (rho) = **0.7**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

0	0.0015017	0.0006561	0.0010329	1.6996
0.0015017	0	1.8199	0.0006561	1.7385
0.0006561	1.8199	0	1.8967	0.0006561
0.0010329	0.0006561	1.8967	0	0.0020689
1.6996	1.7385	0.0006561	0.0020689	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum **Rp 1074560**

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

0	2.1431	0.039063	0.065349	0.98401
2.1431	0	1.3339	0.039063	4.3777
0.039063	1.3339	0	5.229	0.039063
0.065349	0.039063	5.229	0	2.7571
0.98401	4.3777	0.039063	2.7571	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum **Rp 1074560**



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 100

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.019531	0.029777	0.019531	1.5717
0.019531	0	0.019531	2.5932	2.1904
0.029777	0.019531	0	2.6085	0.03033
0.019531	2.5932	2.6085	0	0.019531
1.5717	2.1904	0.03033	0.019531	0

- J4 - J1 - J3 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
 Biaya produksi minimum Rp 1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 10

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 10

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.37866	0.23775	0.15625	0.85835
0.37866	0	0.15625	2.1763	1.8378
0.23775	0.15625	0	2.6686	0.6263
0.15625	2.1763	2.6686	0	0.15625
0.85835	1.8378	0.6263	0.15625	0

- J4 - J1 - J3 - J2 -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
 Biaya produksi minimum Rp 1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = 0.5

Pengendali visibility (beta) = 0.5

Penguapan pheromone (rho) = 0.5

Konstanta (Q) = 1000

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = 1000

Jumlah semut (k) = 1

Jumlah iterasi (Cmax) = 10

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	35.36172	15.625	23.46452	55.05923
35.3617	0	81.88312	15.625	161.5298
15.625	81.88312	0	122.7618	15.625
23.4645	15.625	122.7618	0	53.04983
55.0592	161.5298	15.625	53.04983	0

- J4 - J1 - J2 - J3 -

Total waktu produksi minimum 1168 menit
 Biaya produksi minimum Rp 1074560

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **1000**

Jumlah semut (k) = **10**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

0	0.976563	0.976563	0.976563	60.1214
0.976563	0	0.976563	61.0625	60.8579
0.976563	0.976563	0	61.4327	0.976563
0.976563	61.0625	61.4327	0	0.976563
60.1214	60.8579	0.976563	0.976563	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum Rp **1074560**

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **1000**

Jumlah semut (k) = **100**

Jumlah iterasi (Cmax) = **100**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

0	7.8886e-28	7.8886e-28	7.8886e-28	4.0352
7.8886e-28	0	7.8886e-28	5.4247	5.4247
7.8886e-28	7.8886e-28	0	5.4247	7.8886e-28
7.8886e-28	5.4247	5.4247	0	7.8886e-28
4.0352	5.4247	7.8886e-28	7.8886e-28	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum Rp **1074560**

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **1000**

Jumlah semut (k) = **1000**

Jumlah iterasi (Cmax) = **1000**

Note:
 Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) 0 < alpha, beta, rho < 1
 *) Q, tau > 0
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

1. PENJADWALAN PRODUKSI

PROSES

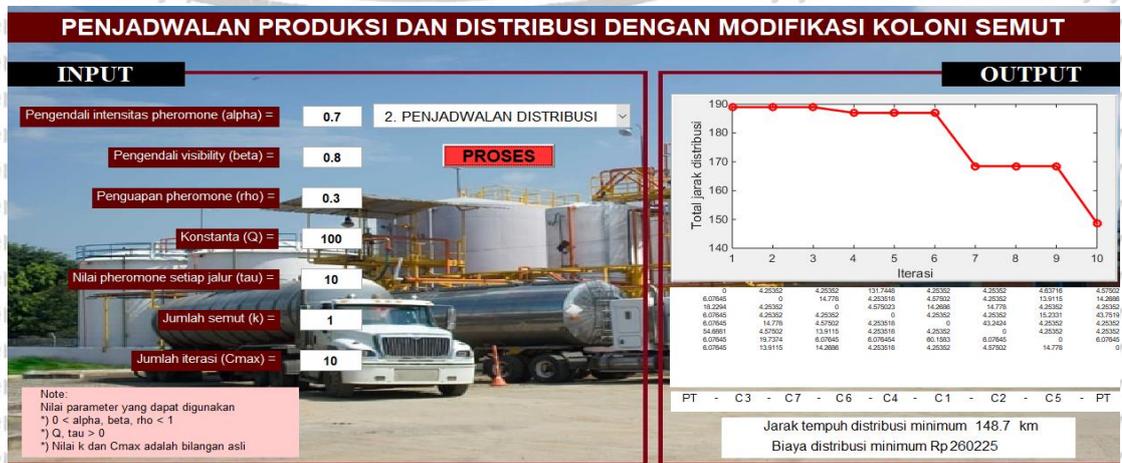
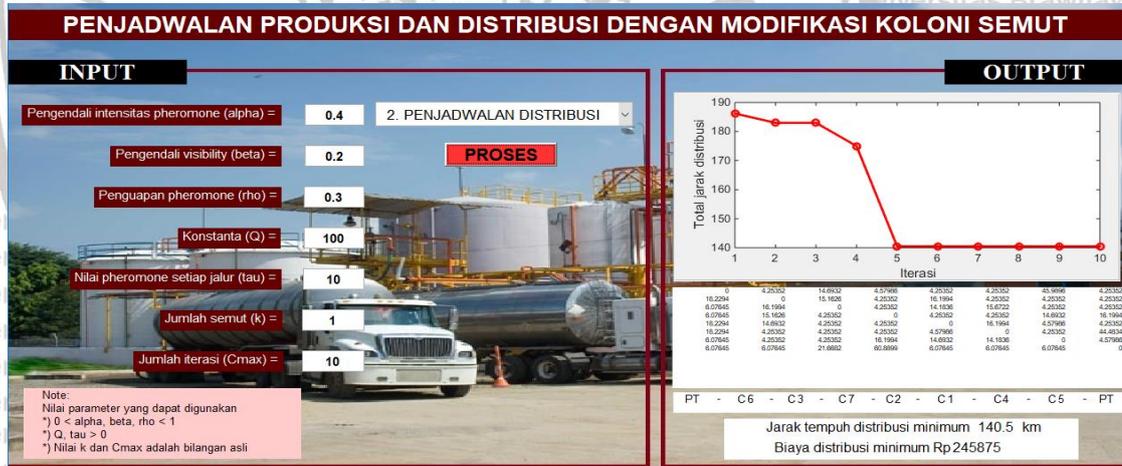
0	3.0093e-33	3.0093e-33	3.0093e-33	4.8385
3.0093e-33	0	3.0093e-33	5.4247	5.4247
3.0093e-33	3.0093e-33	0	5.4247	3.0093e-33
3.0093e-33	5.4247	5.4247	0	3.0093e-33
4.8385	5.4247	3.0093e-33	3.0093e-33	0

Total waktu produksi minimum **1168** menit
 Biaya produksi minimum Rp **1074560**

PENJADWALAN DISTRIBUSI

No.	Nilai parameter							Urutan customer	Total jarak (km)	Biaya distribusi
	α	β	ρ	Q	τ	k	C_{max}			
1	0,4	0,2	0,3	100	10	1	10	C6-C3-C7-C2-C1-C4-C5	140,5	Rp 245.875,-
2	0,7	0,8	0,3	100	10	1	10	C3-C7-C6-C4-C1-C2-C5	148,7	Rp 260.225,-
3	0,4	0,2	0,7	100	10	1	10	C5-C2-C1-C6-C7-C3-C4	157,7	Rp 275.975,-
4	0,5	0,5	0,5	1000	10	1	10	C4-C2-C7-C3-C6-C1-C5	158,7	Rp 277.375,-
5	0,5	0,5	0,5	1000	100	10	10	C2-C4-C1-C6-C7-C3-C5	145,7	Rp 254.975,-
6	0,5	0,5	0,5	1000	100	10	100	C5-C4-C2-C1-C6-C7-C3	141,7	Rp 247.975,-
7	0,5	0,5	0,5	1000	100	100	100	C5-C4-C1-C2-C6-C7-C3	138,7	Rp 242.725,-
8	0,5	0,5	0,5	1000	100	100	100	C3-C7-C6-C2-C1-C4-C5	138,7	Rp 242.725,-
9	0,5	0,5	0,5	1000	100	1000	1000	C3-C6-C7-C2-C1-C4-C5	138,7	Rp 242.725,-

Tabel di atas berisi rangkuman 9 percobaan yang dilakukan dengan berbagai nilai parameter, jumlah semut, dan jumlah iterasi. Hasil percobaan secara lengkap dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.4**

Pengendali visibility (beta) = **0.2**

Penguapan pheromone (rho) = **0.7**

Konstanta (Q) = **100**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

PROSES

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	0.64076	0.1435	0.1435	0.1435	1.1625	2.7223	1.2572	0.1435
0.47632	0	0.19838	0.1435	0.1435	1.1625	2.2261	2.2261	0.1435
0.47632	8.8029	0	0.47632	1.6652	0.47632	0.47632	0.47632	0.47632
0.47632	0.1435	0.1435	0	2.7223	2.6763	0.1435	0.1435	0.1435
4.3049	0.1435	0.1435	0.19838	0	0.1435	0.1435	0.1435	1.9565
0.47632	0.19838	8.7995	0.1435	0.1435	0	0.1435	0.1435	0.64076
0.47632	0.1435	0.1435	2.6643	0.1435	0.1435	0	0.1435	2.807
1.435	0.1435	0.64076	2.7223	0.19838	0.1435	0.1435	0.1435	0

PT - C5 - C2 - C1 - C6 - C7 - C3 - C4 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 157.7 km
 Biaya distribusi minimum Rp275975

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **10**

Jumlah semut (k) = **1**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

PROSES

Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	4.95382	2.4359	2.4359	97.8047	2.4359	2.4359	2.4359	2.4359
4.87179	0	4.95382	2.4359	2.4359	32.0017	2.4359	24.561	24.561
4.87179	24.2041	0	4.95382	2.4359	2.4359	2.4359	2.4359	32.0017
4.87179	2.4359	2.4359	0	2.4359	24.2041	32.0017	4.95382	4.95382
4.87179	2.4359	97.8047	2.4359	0	2.4359	4.95382	2.4359	2.4359
14.6154	4.87179	4.87179	4.87179	4.87179	0	31.5118	4.87179	4.87179
14.6154	32.0017	2.4359	2.4359	2.4359	4.95382	0	2.4359	0
4.87179	2.4359	2.4359	97.8047	4.95382	2.4359	2.4359	2.4359	0

PT - C4 - C2 - C7 - C3 - C6 - C1 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 158.5 km
 Biaya distribusi minimum Rp277375

PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (alpha) = **0.5**

Pengendali visibility (beta) = **0.5**

Penguapan pheromone (rho) = **0.5**

Konstanta (Q) = **1000**

Nilai pheromone setiap jalur (tau) = **100**

Jumlah semut (k) = **10**

Jumlah iterasi (Cmax) = **10**

PROSES

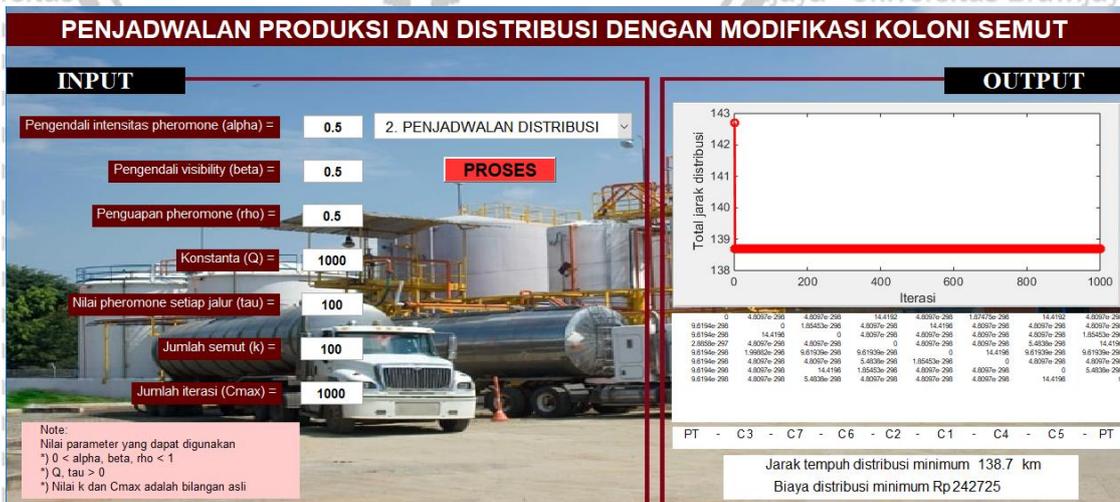
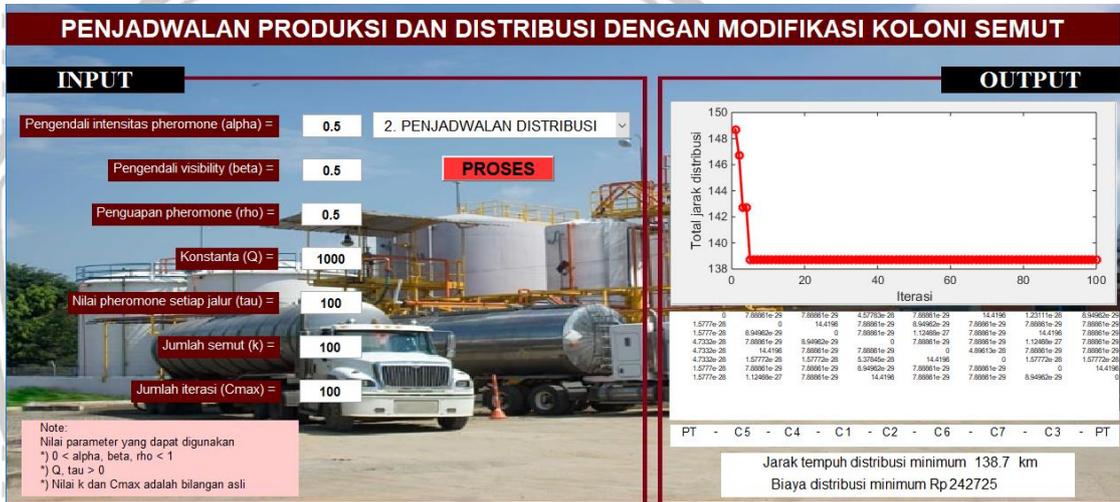
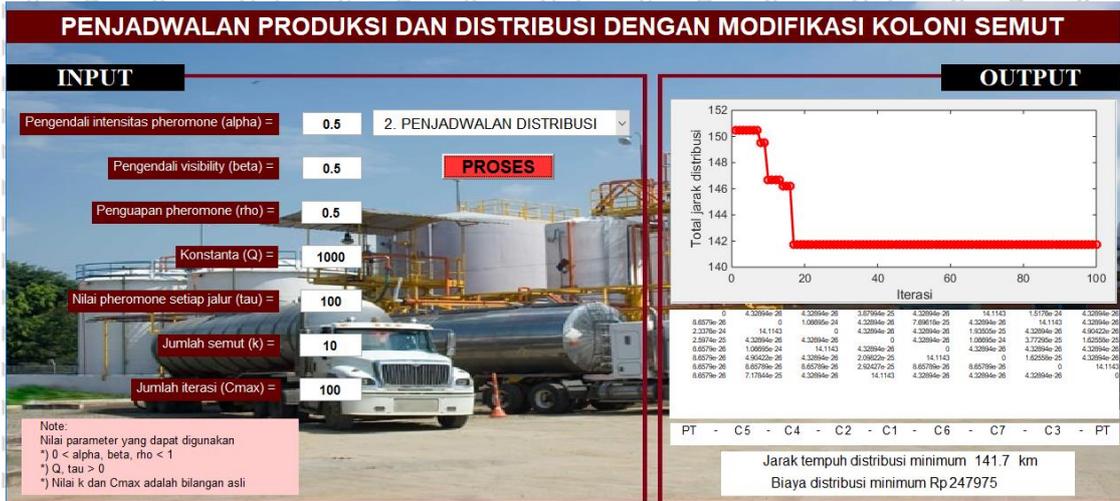
Note:
 *) Nilai parameter yang dapat digunakan
 *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
 *) $Q, \tau > 0$
 *) Nilai k dan Cmax adalah bilangan asli

OUTPUT

0	2.5983	41.1889	2.26766	2.26766	3.79846	6.5319	2.26766	2.26766
4.57631	0	2.26766	2.26766	2.26766	17.7044	2.26766	27.286	8.9929
4.57631	3.51162	0	2.5983	46.9633	2.26766	2.26766	2.26766	2.26766
4.57631	2.26766	2.26766	0	2.26766	22.7043	6.5319	2.26766	2.26766
4.57631	46.9633	2.26766	2.26766	0	2.5983	2.26766	2.26766	2.26766
41.1776	2.26766	7.9966	2.26766	2.26766	0	2.26766	3.51162	4.57631
4.57631	4.57631	6.79949	4.57631	4.57631	15.3622	0	34.8416	0
4.57631	2.26766	2.26766	50.6356	2.26766	2.26766	2.5983	2.26766	0

PT - C2 - C4 - C1 - C6 - C7 - C3 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 145.7 km
 Biaya distribusi minimum Rp254975



PENJADWALAN PRODUKSI DAN DISTRIBUSI DENGAN MODIFIKASI KOLONI SEMUT

INPUT

Pengendali intensitas pheromone (α) = 2. PENJADWALAN DISTRIBUSI

Pengendali visibility (β) = PROSES

Penguapan pheromone (ρ) =

Konstanta (Q) =

Nilai pheromone setiap jalur (τ) =

Jumlah semut (k) =

Jumlah iterasi (C_{max}) =

Note:

- *) Nilai parameter yang dapat digunakan
- *) $0 < \alpha, \beta, \rho < 1$
- *) $Q, \tau > 0$
- *) Nilai k dan C_{max} adalah bilangan asli

OUTPUT

0	9.33264e-300	9.33264e-300	14.4196	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300
1.8695e-299	0	9.33264e-300	9.33264e-300	14.4196	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300
1.8695e-299	14.4196	0	9.33264e-300						
1.8695e-299	9.33264e-300	9.33264e-300	0	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	14.4196	1.87527e-299
1.8695e-299	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	0	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300
1.8695e-299	1.86953e-299								
1.8695e-299	9.33264e-300	1.87527e-299	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	0	14.4196
1.8695e-299	9.33264e-300	14.4196	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	9.33264e-300	1.87527e-299	0

PT - C3 - C6 - C7 - C2 - C1 - C4 - C5 - PT

Jarak tempuh distribusi minimum 138.7 km

Biaya distribusi minimum Rp242725

