

**PENJADUALAN PRODUKSI *FLOW SHOP* MENGGUNAKAN  
ALGORITMA *MODIFIED ANT COLONY*  
(Studi Kasus Penjadualan Pengalengan Ikan PT. Indo Bali  
di Negara Bali)**

**SKRIPSI**

Oleh  
**INDAH MUSTIKA DEWI**  
**0810940007-94**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2012**

**PENJADUALAN PRODUKSI *FLOW SHOP* MENGGUNAKAN  
ALGORITMA *MODIFIED ANT COLONY*  
(Studi Kasus Penjadualan Pengalengan Ikan PT. Indo Bali  
di Negara Bali)**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Matematika

Oleh:

**INDAH MUSTIKA DEWI**  
**0810940007-94**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENJADUALAN PRODUKSI *FLOW SHOP* MENGGUNAKAN  
ALGORITMA *MODIFIED ANT COLONY***

*(Studi Kasus Penjadualan Pengalengan Ikan PT. Indo Bali  
di Negara Bali)*

Oleh:

**INDAH MUSTIKA DEWI**  
**0810940007-94**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 02 Januari 2013  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam Bidang Matematika

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Sobri Abusini, MT**  
**NIP.196012071988021001**

**Prof. Dr. Agus Widodo, M.Kes.**  
**NIP. 195305231983031002**

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Matematika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc**  
**NIP. 196709071992031001**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Indah Mustika Dewi  
NIM : 0810940007-94  
Jurusan : Matematika  
Penulis Skripsi berjudul : **PENJADUALAN PRODUKSI  
*FLOW SHOP MENGGUNAKAN  
ALGORITMA MODIFIED ANT  
COLONY (Studi Kasus Penjadualan  
Pengalengan Ikan PT. Indo Bali  
di Negara Bali)***

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. isi skripsi yang saya buat benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, nama-nama yang termaktub diisi dan tertulis di daftar pustaka skripsi ini hanya sebagai referensi.
2. apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 02 Januari 2013

Yang menyatakan,

(Indah Mustika Dewi)

NIM. 0810940007-94

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





**PENJADUALAN PRODUKSI *FLOW SHOP* MENGGUNAKAN  
ALGORITMA *MODIFIED ANT COLONY*  
(Studi Kasus Penjadualan Pengalengan Ikan PT. Indo Bali  
di Negara Bali)**

**ABSTRAK**

Produksi merupakan salah satu kegiatan perusahaan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Penjadualan dapat dijadikan konsep kunci dalam proses produksi, terlebih lagi di bidang industri manufaktur yang membutuhkan suatu perencanaan yang baik, biaya rendah, efisiensi sumber daya, dan minimalisasi waktu.

Sistem penjadualan produksi, antara lain *open shop*, *flow shop*, dan *job shop*. Pada permasalahan penjadualan *flow shop* ada sejumlah pekerjaan dan sejumlah mesin dengan setiap pekerjaan yang penentuan urutan pengerjaannya dilakukan dengan lintasan produk yang sama.

*Flow shop scheduling problem* diselesaikan dengan metode pendekatan yaitu metode heuristik. Algoritma semut (*ant colony algorithm*) merupakan salah satu metode pemecahan masalah yang bersifat heuristik.

Pada penelitian kali ini yang dilaksanakan di PT. Indo Bali, penulis menggunakan pengembangan algoritma *Ant Colony* menjadi *Modified Ant Colony*. Penelitian ini mengacu pada Mathiyalagan (2010), *Modified Ant Colony Algorithm for Grid Scheduling*. Dimana adanya perbedaan antara algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Ant Colony Modified* yaitu terletak pada *update pheromone* yang ditinggalkan oleh koloni semut yang mencari jalur terpendek dari sarang ke sumber makanannya kemudian kembali ke sarang. *Pheromone* adalah zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, dan kelompok.

**Kata kunci** : Permasalahan penjadualan *flow shop*, algoritma *Ant Colony*, algoritma *Ant Colony* termodifikasi.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



***PRODUCTION FLOW SHOP SCHEDULING USING  
MODIFIED ANT COLONY ALGORITHM  
(Case Study Scheduling Canning PT. Indo Bali in Negara Bali)***

**ABSTRACT**

The production is one of the activities of the company to meet the needs of the market. Scheduling can be a key concept in the production process, especially in the manufacturing industry need at a good planning, low cost, resource efficiency, and minimization of the time.

Production scheduling systems, such as the open shop, flow shop, and job shop. In flow shop scheduling problems there are a number of jobs and number of machines at each work order process is done by determining the trajectory of the same product.

Flow shop scheduling problem solved by the method of approach is a heuristic method. Ant algorithm (ant colony optimization algorithm) is a method of problem solving that is heuristic.

In the present study carried out in PT. Indo Bali, the authors developed an algorithm to Modified Ant Colony Ant Colony. This study refers to P. Mathiyalagan et al, 2010, Modified Ant Colony Algorithm for Grid Scheduling. Where's the difference between Ant Colony algorithm and the Modified Ant Colony algorithm lies in the update pheromone left by ant colonies find the shortest path from the nest to a food source and then back to the nest. Pheromone is a chemical substance that comes from the endocrine glands and is used by living things to recognize other individuals and groups.

**Keywords** : Flow shop scheduling problem, Ant Colony algorithm, Modified Ant Colony.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT atas hidayah dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Penjadualan Produksi Flow Shop Menggunakan Algoritma Modified Ant Colony (Studi Kasus Penjadualan Pengalengan Ikan PT. Indo Bali di Negara Bali)* dengan baik. Tak lupa shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan bagi penulis.

Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Sobri Abusini, M.T., selaku pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi serta kesabaran yang telah diberikan selama penulisan skripsi ini,
2. Prof. Dr. Agus Widodo, M.Kes selaku pembimbing II atas segala bimbingan, motivasi serta kesabaran yang telah diberikan,
3. Drs. Marsudi, M.S, selaku dosen penguji atas segala saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini,
4. Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc selaku ketua Jurusan Matematika dan Dr. Sobri Abusini, MT selaku ketua Program Studi Matematika atas dorongan dan nasihat selama proses penyelesaian skripsi,
5. Bapak/ibu dosen Jurusan Matematika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, serta segenap staf dan karyawan TU Jurusan Matematika atas segala bantuannya,
6. Bapak, Ibu, Winda, tersayang, Mikhail Kennedy, keluarga besar saya atas segala doa, kasih sayang, nasihat, dan dukungan spiritual dan material yang telah diberikan,
7. PT. Indo Bali atas bantuannya dalam penulisan skripsi ini,
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran melalui email penulis [indahmdewi@gmail.com](mailto:indahmdewi@gmail.com)  
Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 02 Januari 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

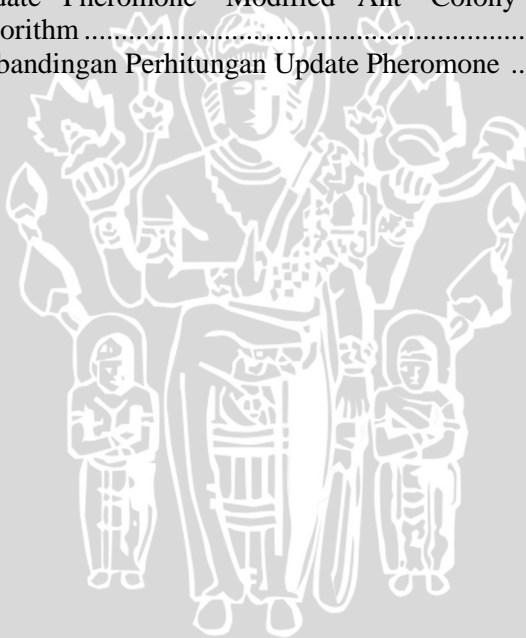
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Proses Produksi Pengalengan Ikan .....	5
2.2 Penjadualan Produksi.....	5
2.3 Output dan Tujuan Penjadualan.....	5
2.4 Jenis-jenis Penjadualan .....	6
2.5 Penjadualan Flow Shop .....	8
2.6 Aturan Prioritas Penjadualan .....	10
2.7 Prosedur pada Penjadualan .....	11
2.8 Pencarian Rute Terpendek .....	11
2.9 Graf .....	12
2.10 Jenis-jenis Graf .....	13
2.11 Peluang .....	15
2.12 Perumusan Masalah penjadualan Permutasi Flow Shop.....	15
2.13 Penjadualan Produksi dengan Algoritma Ant Colony dan Modified Ant Colony .....	16



<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Tempat Penelitian .....	23
3.2 Deskripsi Umum Perusahaan .....	23
3.3 Sumber Data .....	23
3.4 Metode Pengumpulan data .....	24
3.5 Rancangan Penelitian .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1 Proses Produksi .....	29
4.2 Data Waktu Penyelesaian Seluruh Job Pada Proses produksi .....	30
4.3 Penjadwalan Produksi Pengalengan Ikan .....	31
4.4 Pengolahan Data Menggunakan Algoritma Ant Colony dan Algoritma Modified Ant Colony Secara Umum .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	51
4.1 Kesimpulan .....	51
4.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
<b>LAMPIRAN</b> .....	57

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Lingkungan Penjadualan .....	7
Tabel 4.1 Proses Produksi .....	30
Tabel 4.2 Makespan Time Perusahaan .....	30
Tabel 4.3 Data Waktu Proses pada Tiap Mesin .....	31
Tabel 4.4 Proses Produksi pada Tiap Mesin.....	33
Tabel 4.5 Kombinasi Graph Setiap Penyelesaian .....	35
Tabel 4.6 Flow Time dan Makespan .....	38
Tabel 4.7 Probabilitas Perubahan pada Lintasan .....	41
Tabel 4.8 Update Pheromone Lokal .....	43
Tabel 4.9 Update Pheromone Global .....	45
Tabel 4.10 Update Pheromone Modified Ant Colony Algorithm .....	47
Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Update Pheromone ..	49



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Pola Aliran Pure Flow Shop .....	8
Gambar 2.2 Pola Aliran General Flow Shop.....	9
Gambar 2.3 Graf G.....	12
Gambar 2.4 Contoh Graf Lengkap.....	13
Gambar 2.5 Graf Berarah .....	13
Gambar 2.6 Graf Tak Berarah.....	13
Gambar 2.7 Graf Berbobot.....	14
Gambar 2.8 Graf Terhubung .....	14
Gambar 2.9 Graf Tak Terhubung .....	14
Gambar 2.10 Simulasi evolusi yang dilakukan oleh semut....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Aplikasi Model Matematika Algoritma Modified Ant Colony .....	28
Gambar 4.1 Digraf Proses Produksi .....	32
Gambar 4.2 Digraf Produksi Secara Umum.....	34
Gambar 4.3 Digraf Produksi Jadual Pertama (J1).....	36



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Perhitungan Probabilitas Intensitas Jejak Ant Antar Node ..... 57
Lampiran 2	Perhitungan Update Pheromone Lokal ..... 63
Lampiran 3	Perhitungan Update Pheromone Global ..... 65
Lampiran 4	Perhitungan Update Pheromone Modified Ant Colony Algorithm ..... 67
Lampiran 5	Listing Program ..... 69





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Produksi merupakan salah satu kegiatan perusahaan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Adanya kompetisi pasar global yang besar menimbulkan efek tersendiri dalam perusahaan industri, untuk menjalankan pasar dengan efektif dan efisien agar tujuannya tercapai. Dengan demikian, penjadwalan dapat dijadikan konsep kunci dalam proses produksi, terlebih lagi di bidang industri manufaktur yang membutuhkan suatu perencanaan yang baik, biaya rendah, efisiensi sumber daya, dan minimalisasi waktu.

Perusahaan industri beroperasi dengan berbagai sistem penjadwalan produksi, antara lain *open shop*, *flow shop*, dan *job shop*. Pada permasalahan penjadwalan *flow shop* ada sejumlah pekerjaan dan sejumlah mesin dengan setiap pekerjaan yang penentuan urutan pekerjaannya dilakukan dengan lintasan produk yang sama. Hal inilah yang membuat permasalahan ini lebih rumit dibandingkan dengan permasalahan penjadwalan *open shop*.

Terdapat dua jenis metode yang dapat digunakan untuk masalah penjadwalan *flow shop* yaitu metode eksak dan metode pendekatan. Metode eksak dapat digunakan untuk ukuran *flow shop scheduling problem* yang kecil. Sedangkan untuk ukuran masalah yang besar dan rumit digunakan metode pendekatan, salah satunya adalah metode heuristik. Algoritma semut (*ant colony optimization algorithm*) merupakan salah satu metode pemecahan masalah yang bersifat heuristik.

Menurut Dirigo (1996) algoritma semut diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut. Secara ilmiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan.

Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka semakin jelas *pheromone* yang ditinggalkan. Hal ini menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit maka semakin lama semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya atau bahkan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut

dalam jumlah banyak, maka semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya atau bahkan semua semut melalui lintasan tersebut.

Pada penelitian kali ini, penulis menggunakan pengembangan algoritma *Ant Colony* menjadi *Ant Colony Modified*. Penelitian ini mengacu pada Mathiyalagan (2010) *Modified Ant Colony Algorithm for Grid Scheduling*. Dimana adanya perbedaan antara algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Ant Colony Modified* yaitu terletak pada *update pheromone* yang ditinggalkan oleh koloni semut yang mencari jalur terpendek dari sarang ke sumber makanannya kemudian kembali ke sarang. *Pheromone* adalah zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, dan kelompok.

Salah satu perusahaan yang menangani bidang produksi adalah PT. Indo Bali, yaitu salah satu perusahaan produksi pengalangan ikan yang sudah memenuhi standar ISO. Waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi dalam memenuhi permintaan konsumen tidak dapat setiap saat dilakukan karena terbatasnya bahan baku. Ketika bahan baku sudah tersedia akan dilakukan proses produksi, satu kali proses produksi setiap hari berturut-turut dengan rata-rata produksi sebanyak 17 sampai dengan 20 ton ikan. Dalam pelaksanaannya PT. Indo Bali memproduksi dengan sistem FCFS (*first come first served*). Dengan sistem tersebut perusahaan melakukan proses produksi pada mesin yang kosong, sedangkan mesin yang lain menunggu sampai mesin awal selesai memproses. Oleh karena itu diperlukan penjadwalan yang lebih baik dengan cara meminimasi *makespan time* yang dibutuhkan dalam satu kali produksi, sehingga diharapkan waktu tersebut dapat digunakan dengan siklus produksi yang lebih optimal dengan hasil yang maksimal, karena tujuan dari sistem penjadwalan adalah kinerja proses produksi dapat optimal.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka judul yang diambil untuk skripsi ini adalah **“PENJADUALAN PRODUKSI FLOW SHOP MENGGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED ANT COLONY (Studi Kasus Penjadwalan Pengalangan Ikan PT. Indo Bali di Negara Bali)”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana menentukan waktu yang optimal untuk penjadualan produksi *flow shop* menggunakan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony*?
2. Bagaimana efektifitas algoritma *Ant Colony* dibandingkan dengan algoritma *Modified Ant Colony* untuk meminimasi waktu penyelesaian yang paling optimal dari keseluruhan *job* pada penjadualan produksi *flow shop*?
3. Bagaimana hasil simulasi numerik dari penjadualan produksi *flow shop* menggunakan algoritma *Modified Ant Colony*?

## 1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini permasalahan yang ada dibatasi sebagai berikut.

1. Jumlah produksi untuk setiap saat adalah sama dan tidak ada perubahan jumlah mesin.
2. Parameter untuk tingkat *evaporasi pheromone* ( $\rho$ ), pengendali intensitas jejak *ant* ( $\alpha$ ), dan pengendali *visibilitas* ( $\beta$ ) ditetapkan sesuai dengan jurnal yang digunakan (Imamah, 2011).
3. Tidak memperhitungkan tingkat kerusakan mesin atau mesin akan selalu bekerja.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan waktu yang optimal untuk penjadualan produksi *flow shop* menggunakan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony*.
2. Menentukan keefektifitasan algoritma *Ant Colony* dibandingkan dengan algoritma *Modified Ant Colony* untuk meminimasi waktu penyelesaian yang paling optimal dari keseluruhan *job* pada penjadualan produksi *flow shop*.
3. Mengetahui hasil simulasi numerik dan memverifikasi perhitungan manual dari penjadualan produksi *flow shop* menggunakan algoritma *Modified Ant Colony*.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan metode alternatif dalam permasalahan penjadualan *flow shop* dengan menggunakan algoritma semut yang dimodifikasi untuk meminimisasi *makespan time* dalam memaksimalkan hasil produksi.
2. Sebagai bahan pustaka agar dapat mengembangkan keilmuan di bidang matematika.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Proses Produksi Pengalengan Ikan

Proses produksi pengalengan ikan meliputi hal-hal sebagai berikut.

- a. Pengadaan bahan baku.
- b. Pengguntingan (*cutting*).
- c. Pencucian bahan baku.
- d. Pegisian ikan (*filling*).
- e. Pemasakan awal (*pre cooking*).
- f. Penghampaan (*exhausting*).
- g. Penutupan kaleng (*seaming*).
- h. Sterilisasi.
- i. Pendinginan dan pengepakan.

Proses produksi tersebut akan dijadualkan berdasarkan urutan kerja, sehingga mampu menghemat waktu pengerjaan dalam tiap proses produksinya. Secara ekonomis keuntungan yang dapat diperoleh oleh perusahaan adalah penghematan waktu kerja produksi, bila waktu produksi lebih singkat maka gaji pekerja yang dikeluarkan oleh perusahaan pun akan semakin kecil.

#### 2.2 Penjadualan Produksi

Pengertian jadwal menurut kamus besar bahasa Indonesia adalah pembagian waktu berdasarkan rencana pengaturan urutan kerja, daftar atau tabel kegiatan atau rencana kegiatan dengan pembagian waktu pelaksanaan yang terperinci. Secara umum penjadualan merupakan suatu permasalahan dalam melakukan *sequencing* terhadap sejumlah operasi dan mengalokasikannya ke dalam slot waktu tertentu tanpa melanggar *technical constraints* atau batasan teknis dan *capacitive constraints* atau keterbatasan kapasitas yang dimiliki (Betrianis dan Putu, 2003).

#### 2.3 Output dan Tujuan Penjadualan

Penjadualan selalu berkaitan dengan banyak elemen yang berhubungan dengan *resource* yang berbeda-beda pada suatu periode



waktu. Penjadualan produksi adalah kegiatan merencanakan sumber daya secara operasional pada produksi dalam menyelesaikan serangkaian *job*. Jadwal produksi memiliki ukuran *output* yang dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan sistem dalam menyelesaikan keseluruhan *job*.

Beberapa ukuran *output* menurut Morton dan Pentico (1993) adalah sebagai berikut.

- a. *Completion time*, yaitu penyelesaian dari *job j*, dengan *j* menyatakan banyaknya jumlah mesin.
- b. *Flowtime* ( $F_j$ ), yaitu waktu yang dihabiskan *job j* di dalam sistem produksi.
- c. *Lateness* ( $L_j$ ), yaitu selisih antara waktu penyelesaian *job j* dengan *due date*.
- d. *Tardiness* ( $T_j$ ), yaitu keterlambatan waktu penyelesaian *job j*, dimana nilai *lateness* positif.
- e. *Earliness* ( $E_j$ ), yaitu waktu penyelesaian *job j* yang lebih cepat dari *due date*, dimana *lateness* negatif.

Menurut Morton dan Pentico (1993), jadwal produksi memiliki kriteria tujuan yang sesuai dengan respon terhadap permintaan dan jenis lingkungan manufaktur. Antara lain:

- a. meminimumkan *makespan*, yaitu waktu yang digunakan untuk menyelesaikan seluruh *job*,
- b. meminimumkan *total completion time*, yaitu jumlah waktu penyelesaian dari seluruh *job*,
- c. meminimumkan *mean tardiness*, yaitu rata-rata keterlambatan dari seluruh *job*,
- d. meminimumkan *mean flow time*, yaitu rata-rata *job* berada dalam sistem produksi, dan
- e. meminimumkan *mean lateness*, yaitu rata-rata deviasi antara penyelesaian sebuah *job* dengan *due date*.

## 2.4 Jenis-jenis Penjadualan

Menurut Rosnani (2009), terdapat tiga jenis penjadualan berdasarkan sistem produksinya, jenis penjadualan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Penjadualan *flow-shop*

Karakteristik dari penjadualan *flow-shop* yaitu mempunyai pola aliran yang linier dan semua *job* memiliki urutan proses sama.

2. Penjadualan *batch*

Karakteristik dari penjadualan *batch* yaitu mempunyai pola aliran yang tidak begitu rumit dan banyak terjadi perulangan.

3. Penjadualan *job-shop*

Karakteristik dari penjadualan *job-shop* yaitu mempunyai pola aliran yang rumit dan setiap *job* memiliki urutan proses yang berbeda satu sama lain.

Lingkungan dalam penjadualan dibagi menjadi beberapa bagian seperti yang terdapat dalam tabel dibawah ini (Morton & Pentico, 1993).

Tabel 2.1 Lingkungan Penjadualan

Tipe	Karateristik
<i>Classic Job Shop</i>	Diskrit, Aliran rumit, <i>job</i> unik, <i>no multi-use part</i>
<i>Open Job Shop</i>	Diskrit, Aliran rumit, ada <i>job</i> yang berulang, dan/ atau <i>multi-use part</i>
<i>Batch Shop</i>	Diskrit atau kontinu, aliran tidak begitu rumit, banyak pengulangan <i>multi-use part</i> , <i>group and lotting important</i>
<i>Flow Shop</i>	Diskrit atau kontinu, aliran linier, <i>job- job</i> hampir sama, <i>group and lotting important</i>
<i>Batch/ flow shop</i>	Bagian pertama, proses <i>part</i> yang besar dan bergantung; bagian kedua, <i>flow shop</i>
<i>Manufacturing cell</i>	Diskrit, otomasi <i>open job shop</i> atau <i>Batch Shop</i>
<i>Assembly shop</i>	Bentuk perakitan dari <i>open job shop</i> atau <i>Batch Shop</i>
<i>Assembly line</i>	Skala besar, variasi kecil, bentuk aliran dari suatu perakitan
<i>Transfer line</i>	Skala sangat besar dari variasi kecil, sistem produksi linier dan beroperasi secara otomatis.

Sambungan Tabel 2.1 Lingkungan Penjadualan

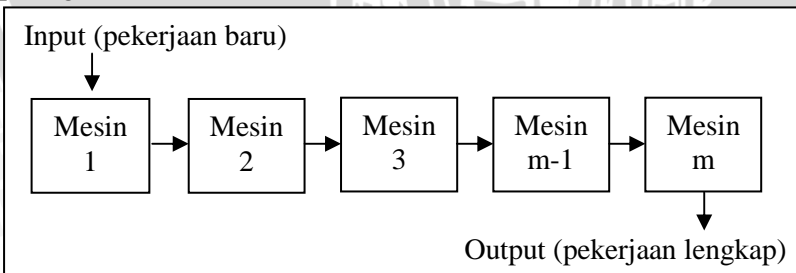
Tipe	Karakteristik
<i>Flexible transfer line</i>	Versi <i>modern</i> dari sel dan aliran yang bertujuan untuk membawa beberapa keuntungan produksi skala besar ke bentuk <i>job shop item</i> .

## 2.5 Penjadualan *Flow Shop*

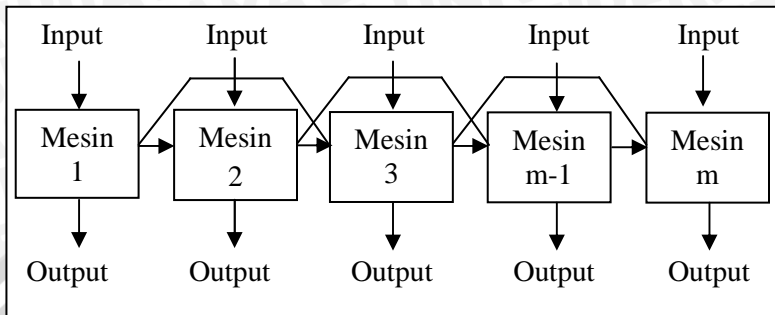
Menurut Baker (1974), model penjadualan dapat dibedakan menjadi 4 jenis keadaan, yaitu :

1. mesin yang digunakan, dapat berupa proses dengan mesin tunggal atau proses dengan mesin majemuk,
2. pola aliran proses, dapat berupa aliran identik atau sembarang.
3. pola kedatangan pekerjaan, Statis atau Dinamis,
4. sifat informasi yang diterima, dapat berupa Deterministik atau Stokastik.

Pada jenis pertama, jumlah mesin dapat dibedakan atas mesin tunggal dan mesin majemuk. Model mesin tunggal merupakan model dasar dan biasanya dapat diterapkan dalam kasus mesin majemuk. Pada model kedua, pola aliran dapat dibedakan atas *Flow Shop* dan *Job Shop*. Pada *Flow Shop* dijumpai pola aliran pemrosesan dari suatu mesin ke mesin yang lain dalam urutan (*routing*) tertentu. Semua pekerjaan yang mengalir pada saat produksi yang sama tanpa boleh melewatinya disebut *pure Flow Shop*. Tetapi jika pekerjaan yang datang kedalam *Flow Shop* tidak harus dikerjakan pada semua mesin disebut *General Flow Shop*. Contohnya dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Pola Aliran *Pure Flow Shop*



Gambar 2.2 Pola Aliran *General Flow shop*

Pada *Job Shop* setiap pekerjaan mempunyai *routing* yang berbeda. Aliran proses yang tidak searah mengakibatkan setiap pekerjaan yang akan diproses pada suatu mesin dapat merupakan pekerjaan baru atau pekerjaan yang sedang dikerjakan.

Pada model ke tiga, pola kedatangan pekerjaan dapat dibedakan atas pola kedatangan Statis dan Dinamis. Pada pola Statis, pekerjaan datang secara bersamaan pada waktu nol, siap dikerjakan pada mesin-mesin yang juga sudah siap untuk bekerja atau kedatangan pekerjaan yang tidak bersamaan tetapi saat kedatangan telah diketahui sejak waktu nol. Sedangkan pola Dinamis mempunyai kedatangan pekerjaan tidak menentu, dijumpai adanya variabel waktu sebagai faktor pengaruh.

Pada model ke empat, perilaku elemen-elemen penjadualan dapat dibedakan atas Deterministik dan Stokastik. Model Deterministik dapat dilihat dari adanya kepastian atas informasi tentang beberapa aspek. Sedangkan pada model Stokastik mengandung unsur ketidakpastian, yang meliputi hal-hal sebagai berikut menurut Barker (1974):

1. Karakteristik pekerjaan dari segi kedatangan, jumlah (kuantitas) pekerjaan, batas waktu penyelesaian (*due date*) dan perbedaan kepentingan antar pekerjaan.
2. Karakteristik pekerjaan dari segi banyaknya operasi, susunan mesin dan waktu proses.
3. Karakteristik mesin dari segi jumlah dan kapasitas mesin, kemampuan dan kecocokan tiap mesin dengan pekerjaan yang diberikan.

## 2.6 Aturan Prioritas Penjadualan (*Priority Dispatching Rules*)

Penentuan prioritas (*Priority Dispatching*) dari pekerjaan (*job*) dalam pendekatan penjadualan *heuristic* adalah untuk memilih satu dari beberapa operasi yang mengalami gangguan. Penentuan prioritas tersebut sangat ditentukan dari tujuan yang ingin dicapai.

Beberapa aturan prioritas diberikan menurut French (1980), adalah sebagai berikut.

1. *Random*  
Pemilihan operasi secara *random* artinya setiap pekerjaan kemungkinan yang sama untuk dipilih.
2. *Most Work Remaining (MWR)*  
Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dengan sisa waktu proses terlama. Aturan prioritas ini cocok digunakan untuk menghasilkan jadwal dengan *makespan* terpendek.
3. *First-Come-First-Serve (FCFS)*  
Prioritas diberikan kepada pesanan yang tiba lebih dahulu disumber. Aturan ini jika konsumen mementingkan waktu pelayanan.
4. *Earliest Due Date (EDD)*  
Prioritas diberikan kepada pesanan dengan *due date* terpendek. Aturan ini dapat berjalan dengan baik jika batas waktu proses *job* relatif sama.
5. *Shortest Processing Time (SPT)*  
Prioritas diberikan kepada pesanan dengan waktu proses yang lebih kecil.
6. *Fewest Operation (FO)*  
Prioritas tertinggi diberikan pada produk dengan sisa operasi paling sedikit. Aturan ini biasanya mengurangi WIP, waktu penyelesaian rata-rata produk (*mean flow time*) dan rata-rata keterlambatan (*mean lateness*).
7. *Shortest Total Processing Time Remaining (STPT)*  
Prioritas tertinggi diberikan kepada pesanan yang mempunyai waktu sisa yang lebih kecil.
8. *Slack Time (ST)*  
Prioritas tertinggi diberikan pada produk dengan slack time lebih kecil.  $ST = dd$  (*due date*) –  $Pd$  (*Present date*) –  $TOTR$  (*Total Operation Remaining*).



## 9. *Critical Ratio (CR)*

Prioritas diberikan kepada pesanan dengan CR yang lebih kecil. CR adalah perbandingan antara waktu yang tersisa sebelum saat kirim dibagi dengan waktu yang tersisa.

## 2.7 Prosedur pada Penjadualan

Menurut Betrianis dan Putu (2003), secara garis besar prosedur umum yang diterapkan pada permasalahan penjadualan dapat dibagi menjadi 2 kelompok, antara lain sebagai berikut.

### 1. *Constructive Procedure*

*Constructive Procedure* ialah suatu prosedur pemecahan permasalahan penjadualan dimana solusi penjadualan dibuat dalam satu kali proses pencarian sampai diperoleh solusi optimal yang lengkap. Metode yang termasuk kedalamnya antara lain:

- a. *Basic Dispatching Rules*
- b. *Mathematical Programming*
- c. *Composite Dispatching Rules*
- d. *Branch and Bound*
- e. *Beam Search*

### 2. *Iterative Procedure*

*Iterative Procedure* berangkat dari satu solusi penjadualan lengkap dengan yang ditentukan secara acak atau dengan cara yang lain, yang kemudian solusi tersebut dimanipulasi secara bertahap untuk mendapatkan satu solusi yang optimal atau mendekati optimal, antara lain :

- a. *Classical Iterative Improvement*
- b. *Threshold Algorithms*
- c. *Tabu Search*
- d. *Simulated Annealing*
- e. *Genetic Algorithms*

## 2.8 Pencarian Rute Terpendek

Pencarian rute terpendek untuk melakukan pencarian jalur antara dua simpul atau lebih, sehingga jumlah dari bobot ujung penyusunan diminimalkan dengan memilih jalur yang tercepat. Selain itu pencarian rute terpendek merupakan salah satu konsep pada sebuah graf dalam melakukan pencarian sebagai pemilihan jalur. Pencarian rute terpendek merupakan pencarian untuk mencari



jalur optimal, maka nilai optimal akan diperoleh secara minimal atau maksimal, secara sistematis dilakukan pemilihan nilai variabel integer atau riil yang memberikan solusi optimal (Wardy, 2007).

Pada skripsi ini graf akan digunakan sebagai referensi dalam proses representasi data. Referensi graf yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

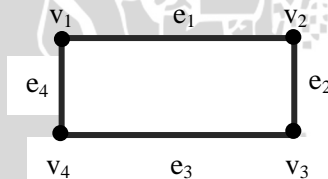
## 2.9 Graf

Graf ( $G$ ) terdiri atas himpunan yang tidak kosong dari elemen-elemen yang mempunyai titik (verteks), dan suatu daftar pasangan verteks yang tidak terurut disebut sisi (edge). Himpunan verteks dari suatu graf  $G$  dinotasikan dengan  $V$ , dan daftar himpunan edge dari graf tersebut dinotasikan dengan  $E$ . Untuk selanjutnya suatu graf  $G$  dapat dinotasikan sebagai  $G = (V, E)$  (Wilson dan Watkhins, 1990).

### Definisi 2.9.1

Menurut Harju (2007), suatu graf  $G$  adalah pasangan himpunan  $(V(G), E(G))$  dengan  $V(G)$  adalah himpunan berhingga tak kosong dari titik-titik dan  $E(G)$  adalah himpunan berhingga (boleh kosong) dari garis-garis.

Contoh:



Gambar 2.3 Graf  $G$

Pada Gambar 2.3 menunjukkan graf dengan himpunan titik  $V(G) = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$  dan himpunan sisi  $E(G) = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ .

### Definisi 2.9.2

Menurut Harju (2007), graf  $G$  dikatakan graf lengkap jika setiap pasang titik terhubung. Graf lengkap dengan  $n$  buah titik dilambangkan dengan  $K_n$ . Jumlah sisi pada graf lengkap yang terdiri dari  $n$  buah titik adalah  $n(n - 1)2$ .

Contoh:



Gambar 2.4 Contoh graf lengkap

## 2.10 Jenis-Jenis Graf

### Definisi 2.10.1

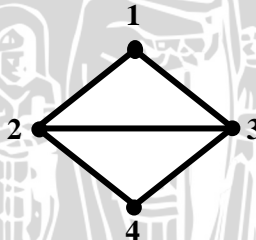
Menurut Chartrand dan Zang (2005), graf berarah (*directed graph* atau *digraph*) adalah suatu graf yang rusuk-rusuknya berarah (busur). Contoh :



Gambar 2.5 Graf berarah

### Definisi 2.10.2

Menurut Munir (2005) graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah disebut graf tak-berarah. Contoh :

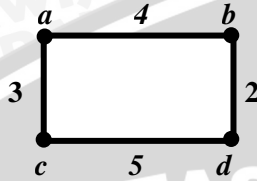


Gambar 2.6 Graf tak berarah

### Definisi 2.10.3

Menurut Marsudi (2006) graf berbobot (*weighted graph*)  $G$  adalah graf yang mempunyai fungsi bobot  $w$ . Bobot dari rusuk  $e$  disebut  $w(e)$  dan  $w$  adalah bilangan asli dan positif.

Contoh :



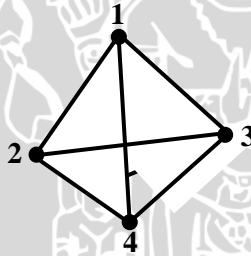
Gambar 2.7 Graf berbobot

Pada gambar 2.7 diperoleh  $w(a,b)=4$ ,  $w(a,c)=3$ ,  $w(c,d)=5$ , dan  $w(b,d)=2$ .

#### Definisi 2.10.4

Graf tak berarah  $G$  disebut graf terhubung (*connected graph*) jika untuk setiap pasang titik di dalam himpunan  $V$  terdapat lintasan (*path*). Jika tidak, maka  $G$  disebut graf tak-terhubung (*disconnected graph*) (Grimaldi, 1994).

Contoh :



Gambar 2.8 Graf terhubung



Gambar 2.9 Graf tak terhubung

## 2.11 Peluang

### Definisi 2.11.1 (Spiegel, 1998)

Andaikan kejadian  $E$  dapat terjadi dalam  $h$  cara dari seluruh  $n$  cara yang mungkin. Maka peluang terjadinya kejadian tersebut dinyatakan oleh:

$$p = \Pr\{E\} = \frac{h}{n} \quad (2.1)$$

### Definisi 2.11.2

Jika  $E_1$  dan  $E_2$  merupakan kedua kejadian, peluang bahwa  $E_2$  terjadi dengan syarat bahwa  $E_1$  telah terjadi dinyatakan oleh  $\Pr\{E_2 | E_1\}$ , dan disebut peluang bersyarat dari  $E_2$  bila kejadian  $E_1$  telah terjadi (Spiegel, 1998).

### Definisi 2.11.3

Misalkan terdapat suatu proses stokastik  $\{X_n, n = 1, 2, 3, \dots\}$ . Apabila  $X_n = i$ , maka proses berada pada *state*  $i$ . Peluang perpindahan dari *state*  $i$  ke *state*  $j$  disebut peluang transisi  $P_{ij}$ . Peluang transisi  $P_{ij}$  dapat disajikan dalam bentuk matriks transisi (Abdurachman, 2003).

## 2.12 Perumusan Masalah Penjadwalan Permutasi *Flowshop*

Masalah penjadwalan permutasi *flowshop* terdiri atas penjadwalan  $n$  *job* dengan proses waktu yang diberikan pada  $m$  mesin, di mana urutan pengolahan *job* pada semua mesin yang identik dan searah untuk setiap pekerjaan. Dalam mempelajari masalah penjadwalan *flowshop*, ada sebuah asumsi umum bahwa urutan di mana setiap proses mesin untuk semua pekerjaan adalah identik pada semua mesin (permutasi *flowshop*). Penjadwalan jenis ini disebut jadwal permutasi dan didefinisikan lengkap oleh urutan semua pekerjaan, juga mempertimbangkan hanya proses permutasi dalam pekerjaan ini.

Misal:

- $\tau_{ij}$  menjadi waktu pemrosesan *job*  $i$  pada mesin  $j$ ,
- $n$  menjadi jumlah *job* yang akan dijadwalkan,
- $m$  menjadi jumlah mesin di *flowshop* tersebut,

$\sigma$  menjadi urutan *job* yang sudah terjadual,  
 $q(\sigma, j)$  menjadi waktu penyelesaian dari urutan *job*  $\sigma$  pada mesin  $j$ ,  
 $q(\sigma_i, j)$  menjadi waktu penyelesaian dari *job*  $i$  pada mesin  $j$  saat *job* dijadualkan pada urutan *job*  $\sigma$ ,

Untuk menghitung awal dan waktu penyelesaian pekerjaan pada mesin permutasi *flowshops*, digunakan persamaan rekursif sebagai berikut.

Inisialisasi  $q(\sigma_i, 0)$  adalah waktu penyelesaian *job*  $i$  pada mesin 0, sama dengan nol. Kali ini mengindikasikan waktu ketersediaan pekerjaan di *flowshop* tersebut, dan itu adalah sama dengan 0 untuk semua pekerjaan dalam kasus statis *flowshops*.

For  $j = 1$  to  $m$  do

$$q(\sigma_i, j) = \max\{q(\sigma, j), q(\sigma_i, j - 1)\} + t_{ij}$$

Waktu aliran pekerjaan  $i$ ,  $C_i$  diberikan oleh

$$C_i = q(\sigma_i, m)$$

Ketika semua pekerjaan yang dijadwalkan, total waktu alir  $F$ , dan  $Z$  *makespan* yang diperoleh sebagai

$$F = \sum_{i=1}^n C_i,$$

$$\text{dan } Z = \max\{C_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

Perlu dicatat bahwa  $q(\emptyset, j)$  sama dengan 0 untuk semua  $j$ , di mana  $\emptyset$  menunjukkan jadwal ke nol (Rajendran, 2002).

## 2.13 Penjadualan Produksi dengan *Algoritma Ant Colony* dan *Modified Ant Colony*

*Algoritma Ant Colony* merupakan salah satu pendekatan metaheuristik yang mampu memberikan hasil positif untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan menemukan solusi yang baik. Menurut Bauer metode *Ant Colony* sudah terbukti cocok untuk diaplikasikan pada permasalahan: *traveling salesman*, *vehicle routing*, *quadratic assignment or job shop* (Bauer, 1999).

### 2.13.1 Dari Kenyataan ke Semut Buatan

*Ant colony* atau secara umum disebut serangga sosial merupakan suatu sistem yang tidak dilakukan secara individu melainkan sebuah organisasi sosial yang sangat terstruktur. Sebagai hasil dari organisasi ini, *ant colony* dapat menyelesaikan tugas-tugas



yang kompleks dalam beberapa kasus jauh melebihi kemampuan individu seekor semut saja.

Bidang studi yang mempelajari tentang model "algoritma semut" yang berasal dari pengamatan nyata perilaku semut. Model ini digunakan sebagai sumber inspirasi untuk desain algoritma baru sebagai solusi dari masalah optimasi dan kontrol terdistribusi.

Ide utama adalah prinsip organisasi-diri yang memungkinkan sangat terkoordinasinya perilaku semut yang sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk mengkoordinasikan populasi agen buatan yang bekerja sama untuk memecahkan masalah komputasi. Beberapa aspek yang berbeda dari perilaku *ant colony* telah menginspirasi berbagai jenis algoritma semut. Sebagai contohnya yaitu pencarian makanan, pembagian kerja, pemilahan induk, dan transportasi kooperatif. Dari kesemua contoh ini, semut mengkoordinasikan kegiatan mereka melalui *stigmergy*. Misalnya, pencarian makanan, semut mendepositokan bahan kimia yang berada di tanah yang meningkatkan probabilitas bahwa semut lainnya akan mengikuti jalan yang sama. Ahli biologi telah menunjukkan bahwa banyak perilaku tingkat koloni yang diamati pada serangga sosial dapat dijelaskan melalui model agak sederhana di mana hanya dapat disampaikan dengan komunikasi *stigmergy*. Dengan kata lain, ahli biologi telah menunjukkan bahwa seringkali cukup untuk mempertimbangkan *stigmergy*, komunikasi tidak langsung untuk menjelaskan bagaimana serangga sosial dapat mencapai organisasi-diri. Gagasan di balik algoritma *ant colony* kemudian menggunakan bentuk *stigmergy* buatan untuk mengkoordinasikan agen koloni buatan (Dorigo, 2004).

### **2.13.2 Perilaku Pencarian Makan Semut**

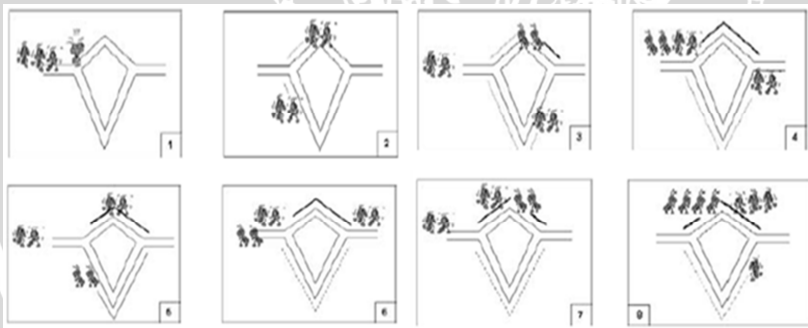
Pada dasarnya banyak kemampuan perseptif visual dari spesies semut hanya dikembangkan. Bahkan, wawasan penting penelitian awal tentang perilaku semut adalah sebagian besar komunikasi antara individu atau antara individu dan lingkungan, didasarkan pada penggunaan bahan kimia yang dihasilkan oleh semut. Zat kimia ini disebut *pheromone*. Terutama bagi kehidupan sosial dari beberapa spesies semut yaitu jejak *pheromone*. *Trail pheromone* adalah jenis tertentu dari feromon bahwa beberapa spesies semut, seperti *Hymeniptera niger*, *Lasius Niger* (semut hitam), dan semut *Argentina*



*Iridomyrmex humilis* (Goss, Aron, Deneubourg, & Pasteels, 1989), digunakan untuk menandai jalan di lapangan. Dengan merasakan *pheromone* pengumpul *trails* dapat mengikuti jalan ke makanan yang ditemukan oleh semut lain (Dorigo, 2004).

Semut-semut dalam setiap koloni melakukan perjalanan yang berawal dari sarangnya menuju sumber makanan. Jembatan yang akan dilalui pada koloni pertama belum terdapat *pheromone*, sehingga semut memiliki probabilitas yang sama dalam memilih jembatan. Ketika panjang dari salah satu jembatan lebih pendek dari jembatan lainnya, maka semut yang melewati jembatan pendek akan lebih cepat kembali ke sarangnya. Hal yang menyebabkan jumlah *pheromone* pada jembatan pendek meningkat dengan cepat. Semut dari koloni berikutnya akan memilih salah satu jembatan untuk menuju sumber makanan, dan semut ini terpengaruh oleh banyaknya jumlah *pheromone* yang terletak pada jembatan pendek. Aktivitas yang dilakukan oleh semut dalam mencari makanan menjadi inspirasi munculnya algoritma ini (Dorigo, 2000).

### 2.13.3 Cara Kerja Semut Mencari jalur Optimal (Mathiyalagan, 2010)



Gambar 2.10 Simulasi evolusi yang dilakukan oleh semut

Percobaan pada Gambar 2.10 memberikan dua jalur ke sumber makanan, tapi salah satunya dua kali lebih lama dari yang lain. Semut-semut akan mulai bergerak lagi secara random dan menjelajahi tanah. Probabilitas 50% dari semut akan mengambil cara terpendek, sementara yang 50% lainnya akan mengambil jalan lama dikarenakan semut tidak memiliki petunjuk untuk menyimpulkan

konfigurasi tanah. Semut yang mengambil jalan yang lebih pendek akan mencapai sumber makanan sebelum yang lain dan meninggalkan jejak *pheromone* dibelakang mereka. Setelah mencapai makanan. Semut akan kembali dan mencoba untuk menemukan sarangnya. Dipersimpangan salah satu jalan akan berisi *pheromone* meskipun yang lain tidak dieksplorasi. Oleh karena itu, semut yang membawa makanan akan mengambil jalan yang sudah dieksplorasi yang merupakan cara semut untuk kembali menuju ke sarang. Semut yang memilih jalur terpendek akan terus memberikan deposito *pheromone*, karena itu jalan tersebut akan menjadi lebih menarik bagi semut yang lain (Mathiyalagan, 2010).

Semut-semut yang mengambil jalan yang lebih panjang akan memiliki kemungkinan lebih banyak untuk kembali menggunakan jalur terpendek dan setelah beberapa waktu, mereka akan berkumpul dan terus menggunakannya. Akibatnya, semut akan menemukan jalur terpendeknya tanpa memiliki pandangan global tanah. Dengan mengambil keputusan di setiap lintas sesuai dengan jumlah *pheromone*, para semut akan berhasil menggali, menemukan makanan, dan membawanya kembali ke sarang, dengan cara yang optimal (Mathiyalagan, 2010).

#### 2.13.4 Langkah-Langkah *Ant Colony Algorithm*

Adapun langkah-langkah algoritma *Ant Colony* sebagaimana yang diungkapkan oleh Rajendran (2002) sebagai berikut.

- a. Inisialisasi setiap parameter.
- b. Penyusunan rute kunjungan setiap *ant* ke setiap node.
- c. Perhitungan *makespan time* pada setiap *ant*:
  - a.  $Z_{best} = \max\{C_i, i = 1, 2, \dots, n\}$
  - b.  $C_i = q(\sigma_i, m)$
  - c.  $q(\sigma_i, j) = \max\{q(\sigma, j), q(\sigma_i, j - 1)\} + t_{ij}$ .
- d. Perhitungan perubahan probabilitas intensitas jejak *ant* antar node dapat dinyatakan sebagai

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}^\beta]}{\sum_{i=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)^\beta]}$$

- e. Perhitungan *update* intensitas jejak kaki *ant* antar node untuk siklus berikutnya.

*Update pheromone* lokal

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} .$$

dengan

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij} \cdot c}$$

dimana,

$P_{ij}$  = waktu *job i* pada mesin *j*

$c$  = jumlah lokasi

$\rho$  = parameter dari 0 sampai 1

$\Delta\tau_{ij}$  = perubahan *pheromone*

- f. *Update pheromone* global

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} P_{gb}^{-1} & \text{untuk } ij \in \text{tur terbaik}, ij > 0 \\ 0, & \text{untuk yang lain} \end{cases}$$

$\tau_{ij}$  = nilai *pheromone* setelah mengalami pembaharuan lokal

$P_{gb}$  = waktu tercepat pada akhir siklus

$\alpha$  = parameter dengan nilai antara 0 sampai 1

$\Delta\tau_{ij}$  = perubahan *pheromone*

- g. Jika pemberhentian terpenuhi atau jumlah maksimum iterasi sudah selesai, ambil urutan *job/operasi* yang memiliki *makespan time* terkecil, jika tidak kembali ke langkah ke-2.

### 2.13.5 Langkah-Langkah *Ant Colony Algorithm Modified*

Optimasi algoritma *ant colony* digunakan untuk memecahkan masalah kompleks dan besar. Hal ini membutuhkan jaringan penjadualan untuk mencapai kinerja tinggi. Penjadualan pekerjaan tetap independen sebagai masalah kompleks dalam jaringan lingkungan. Oleh karena itu lebih baik penjadualan dalam pengalangan ikan dapat dicapai dengan menggunakan pendekatan heuristik. Algoritma *ant colony* merupakan pendekatan heuristik yang dapat digunakan. Dasar algoritma *ant colony* melibatkan probabilitas transisi dan memperbarui *pheromone*. Algoritma

*modified ant colony*, digunakan untuk mencapai penjadwalan yang lebih baik untuk meningkatkan kinerja sistem pengalangan ikan. Algoritma *modified ant colony* telah mengubah aturan *pheromone* dasar pemutakhiran algoritma *ant colony* asli (Mathiyalagan, 2010):

Perhitungan *update* intensitas jejak kaki *ant* antar node untuk siklus berikutnya.

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left\{ \frac{1}{(1 + \rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1 + \rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\}$$

dengan,

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} P_{gb}^{-1} & \text{untuk } ij \in \text{tur terbaik}, ij > 0 \\ 0, & \text{untuk yang lain} \end{cases}$$



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dalam skripsi ini dilaksanakan di Desa Tegal Badeng Barat Kecamatan Negara Kabupaten Jembrana Provinsi Bali.

### 3.2 Deskripsi Umum Perusahaan

PT. Indo Bali berdiri sejak tahun 1978 dalam bidang usaha pembuatan tepung ikan dan pengalengan ikan. Latar belakang didirikannya perusahaan Indo Bali, karena ikan hasil tangkapan petani ikan disekitar perusahaan melimpah. PT. Indo Bali memproduksi ikan sarden dalam saus tomat. Pengalengan sarden yang digunakan sebagai bahan penelitian dalam skripsi ini terdapat dalam jenis kaleng ukuran 155 gram produk merk Benteng dan dikemas dalam kotak karton yang terdiri dari 50 kaleng. Daerah pemasaran produk PT. Indo Bali meliputi pulau Jawa, Medan, Palembang, dan beberapa kota di Kalimantan serta Sulawesi.

PT. Indo Bali telah mendapat sertifikat *management* mutu untuk produk sebagai berikut.

- a. Sertifikat halal.
- b. Sertifikat kelayakan pengolahan.
- c. *Certificate of Approval* dari *Benchmark* untuk *management* Mutu ISO.
- d. *Fish Quarantine and Inspection Agency* (FQIA).
- e. *Certificate Implementation of Pree Requestite Requirements of Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP).
- f. Persetujuan Pendaftaran Produk pangan dari Badan POM RI.

### 3.3 Sumber Data

Data yang digunakan pada skripsi ini adalah data mulai tanggal 17 September 2012 sampai dengan 19 September 2012 . Data-data yang diperoleh merupakan data dari PT. Indo Bali yang sesuai dengan obyek penelitian. Dalam analisis data, data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Data jadual proses produksi.
2. Data banyak pekerjaan (*job*).



3. Data banyak mesin.
4. Data waktu proses produksi.

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu:

1. Penelitian langsung di lapangan atau perusahaan (*field research*)

Tujuan dari penelitian secara langsung ke perusahaan adalah untuk memperoleh data-data yang mendukung proses penelitian dan dapat mengetahui permasalahan yang ada di perusahaan secara langsung. Tahap pengumpulan data dengan penelitian secara langsung ke perusahaan dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu:

- a. Observasi

Pengumpulan data dengan cara observasi secara langsung dapat dilakukan dengan mencatat dan meneliti langsung di perusahaan mengenai objek penelitian.

- b. Wawancara

Pengumpulan data dengan cara wawancara dapat dilakukan dengan melakukan komunikasi secara langsung dengan pihak perusahaan mengenai obyek penelitian.

- c. Dokumentasi

Data-data yang diperoleh dari dokumentasi merupakan data sekunder. Hal tersebut dikarenakan data diperoleh dari data-data perusahaan yang nantinya akan digunakan untuk penelitian. Pengumpulan data dengan dokumentasi dilakukan dengan mempelajari data yang berhubungan dengan obyek penelitian yang terdapat di perusahaan.

2. Studi Literatur

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

3. Metode Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam pengolahan data adalah menggunakan metode algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony*, metode ini digunakan untuk meminimasi *makespan time*.

- a. *Input* untuk penjualan *flow shop* dengan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* adalah jadwal proses produksi, banyak pekerjaan (*job*), banyak mesin, waktu proses produksi.
- b. *Output* untuk penjualan *flow shop* dengan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* adalah memberikan informasi mengenai minimasi waktu produksi agar memperoleh hasil produksi yang maksimal, biaya rendah, dan efisiensi sumber daya.

### 3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian secara operasional yang dilakukan untuk membuat penjadualan dan minimasi secara efektif dan efisien, terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut.

#### 1. *Survey* Perusahaan

*Survey* dilakukan untuk melihat, mengetahui, dan mempelajari kondisi lingkungan *intern* dan *ekstern* perusahaan, dan sumber informasi dilakukan pada tiga obyek yaitu adalah apa yang harus dihubungi, dilihat, dan diteliti atau dikunjungi yang nantinya dapat memberikan data yang akan dikumpulkan, sehingga masalah yang terjadi dalam perusahaan tersebut dapat dianalisa dan dipecahkan dengan ilmu-ilmu yang ada.

#### 2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan dengan mencari penyebab timbulnya masalah lalu mencari pemecahan yang tepat.

#### 3. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mempelajari ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang terjadi untuk mencari solusi yang tepat.

#### 4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan setelah melakukan studi literatur yang berkaitan dengan masalah-masalah dalam perusahaan yang berhasil diidentifikasi.

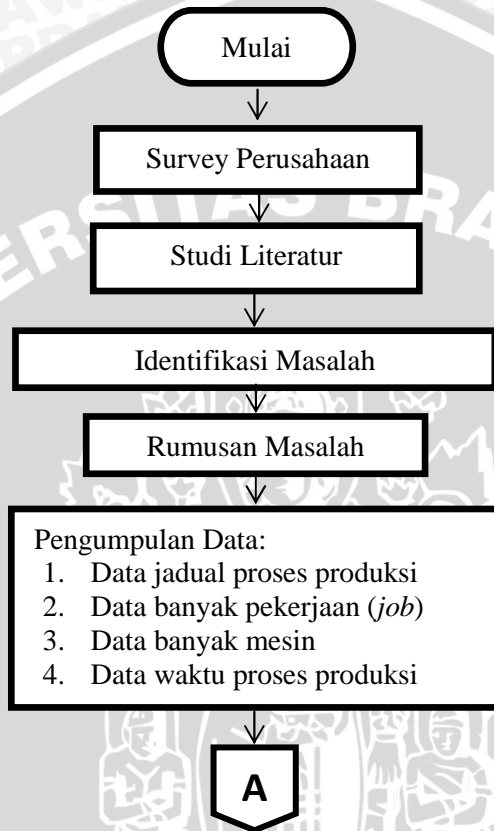
#### 5. Pengumpulan Data

Setelah merumuskan masalah, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan dari perusahaan untuk dapat mencari solusi dari permasalahan yang ada. Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan data yang meliputi:

- a. Data jadual proses produksi
  - b. Data banyak pekerjaan (*job*)
  - c. Data banyak mesin
  - d. Data waktu proses produksi
6. Pengolahan Data
- Menentukan *makespan time* proses produksi, menentukan penjadualan produksi pengalengan ikan, menentukan waktu proses pada tiap mesin, menentukan digraph proses produksi, menentukan penjadualan untuk proses produksi secara umum, menentukan proses penjadualan produksi dengan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony*
7. Membandingkan *makespan time*
- Membandingkan *makespan time* proses produksi dengan algoritma *Ant colony* dan algoritma *Modified Ant Colony*
8. Mensimulasikan penjualan *flow shop* dengan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* dengan software matlab.
9. Kesimpulan.



Secara ringkas rancangan penelitian dan langkah pengerjaan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



A

Pengolahan Data:

1. Menentukan *makespan time* proses produksi.
2. Menentukan penjadualan produksi pengalangan ikan.
3. Menentukan waktu proses pada tiap mesin.
4. Menentukan digraph proses produksi.
5. Menentukan penjadualan untuk proses produksi secara umum.
6. Menentukan proses penjadualan produksi dengan algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* antara lain :
  - a. Inisialisasi parameter
  - b. Penyusunan rute kunjungan setiap *ant* ke setiap node
  - c. Perhitungan *makespan time*
  - d. Perhitungan probabilitas perubahan pada lintasan
  - e. Perhitungan *update pheromone*

*Makespan time* terkecil untuk penyelesaian yang paling optimal

Kesimpulan

Gambar 3.1 Diagram Alir Aplikasi Model Matematika Algoritma *Modified Ant Colony*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian yang digunakan adalah data *makespan time* produksi, ini akan digunakan sebagai perbandingan dengan *makespan time* yang diperoleh dari algoritma *ant colony* pada produksi pengalengan ikan yang didasarkan pada perolehan *makespan time* terkecil. Selain itu data yang diperoleh juga akan digunakan untuk mengetahui perubahan probabilitas intensitas jejak antar node dan *update* intensitas jejak kaki antar node untuk siklus berikutnya.

### 4.1 Proses Produksi

Data proses produksi berisi secara umum tata cara yang digunakan PT. Indo Bali dalam proses pengalengan ikan. Pengalengan ikan hasil penelitian yang dilakukan pada PT. Indo Bali terdiri dari 10 bagian yang masing-masing meliputi :

1. pengadaan bahan baku,
2. pengguntingan (*cutting*),
3. pencucian bahan baku,
4. pegisian ikan (*filling*),
5. pemasakan awal (*pre cooking*),
6. penghampaan (*exhausting*),
7. penutupan kaleng (*seaming*),
8. sterilisasi,
9. pendinginan, dan
10. pengepakan.

Pada penjadualan proses produksi ini terbagi menjadi tiga mesin yang berfungsi sama dan masing-masing mesin memiliki tiga job untuk penyelesaian masing-masing proses yang diantaranya dapat dijelaskan pada tabel dibawah ini. Masing-masing mesin dikelompokkan sesuai dengan *job*/fungsi masing-masing mesin itu sendiri.



Tabel 4.1 Proses Produksi

Job ke -	Fungsi job	Mesin
1	Pengguntingan ( <i>cutting</i> ). Pencucian bahan baku. Pegisian ikan ( <i>filling</i> ).	1,2,3
2	Pemasakan awal ( <i>pre cooking</i> ). Penghampaan ( <i>exhausting</i> ). Penutupan kaleng ( <i>seaming</i> ).	1,2,3
3	Sterilisasi. Pendinginan dan pengepakan	1,2,3

#### 4.2 Data Waktu Penyelesaian Seluruh Job Pada Proses Produksi

Data waktu penyelesaian seluruh *job* atau *makespan* digunakan sebagai bahan perbandingan antara waktu penyelesaian seluruh *job* perusahaan dengan waktu penyelesaian seluruh *job* penjadualan menggunakan algoritma *ant colony* dan algoritma *modified ant colony*. Hasil penelitian yang dilakukan di PT. Indo Bali selama tiga hari yaitu mulai tanggal 17,18, dan 19 September 2012 diperoleh data *makespan time* untuk keseluruhan *job* adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 *Makespan Time* Perusahaan

Hari ke -	Waktu Penyelesaian Seluruh Job (menit)		
	Rata-rata penyelesaian	Target	Selisih waktu
1	182,9167	180	2,9167
2	182	180	2
3	181,5833	180	1,5833
Total			6,5

Prioritas penjadualan diberikan kepada pesanan yang tiba lebih dahulu dan prioritas pada mesin. Aturan ini dipilih karena mementingkan waktu pelayanan konsumen dan pada saat mesin kosong maka dapat dilakukan proses produksi sedangkan mesin lain

menunggu sampai produksi awal selesai (*idle*), sehingga diperlukan penjadualan yang dapat meminimumkan waktu pemrosesan.

### 4.3 Penjadualan Produksi Pengalengan Ikan

Data-data yang diperlukan dalam penjadualan algoritma *ant colony* dan algoritma *modified ant colony* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Waktu Proses pada Tiap Mesin

Job	Waktu Pemrosesan Mesin		
	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3
1	60	41	50
2	29	22	30
3	36	36	32

Tabel 4.3 menjelaskan waktu penyelesaian proses produksi di masing-masing mesin pada setiap *job*. Sebagai contoh pada pekerjaan pertama, waktu penyelesaian produksi di mesin satu membutuhkan waktu selama 60 menit, di mesin dua membutuhkan waktu 41 menit, dan di mesin tiga membutuhkan waktu selama 50 menit, begitu pula dengan pekerjaan kedua dan ketiga.

#### 4.3.1 Proses Representasi Data *Flow Shop* Kedalam Graf

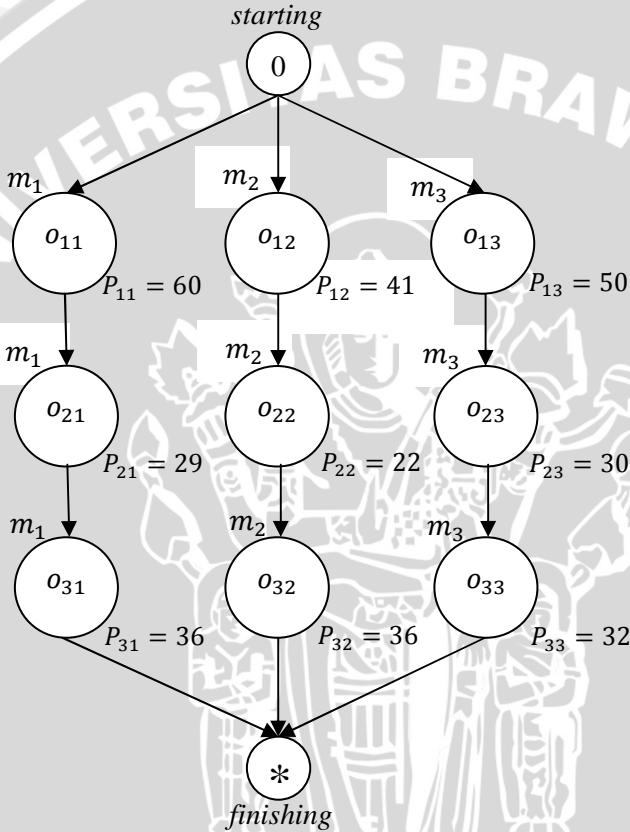
Untuk mendiskusikan algoritma semut, lingkungan yang akan digunakan adalah sebuah graf yang *fully connected* (setiap node memiliki busur ke node yang lain), setiap jalur tidak dapat ditempuh bolak-balik atau dua arah. Setiap busur memiliki bobot yang menunjukkan jarak antara dua buah node yang dihubungkan oleh busur tersebut.

Proses ini dilakukan untuk merepresentasikan data *flow shop* yang dimasukkan ke dalam bentuk node-node yang saling berhubungan sehingga dapat digunakan oleh semut dalam menentukan rute perjalanan.

Aliran proses produksi pada perusahaan Indo Bali termasuk pada jenis produksi *flow shop*, langkah awal sebelum memasuki penjadualan dalam bentuk graf berarah atau *digraph*. Bucker (2006)

menjelaskan bahwa model *disjunctive graph* dapat digunakan untuk mempresentasikan penjadwalan pada masalah *shop* secara umum.

Berikut ini diberikan representasi graf berarah (*digraph*) dari proses produksi pada PT. Indo Bali, dimulai dari *starting* hingga *finishing* serta waktu yang dibutuhkan pada tiap prosesnya.



Gambar 4.1 *Digraph* Proses Produksi

*Digraph* Proses Produksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 menjelaskan tentang proses produksi mulai dari awal hingga selesai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini. Dimana akan ditunjukkan fungsi untuk setiap masing-masing mesin disetiap *job*.

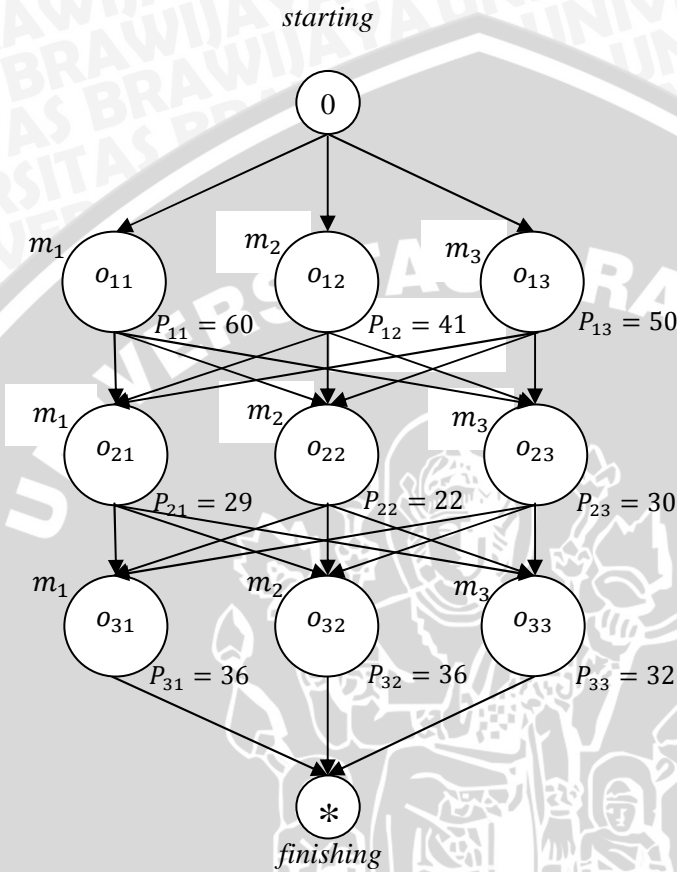
Tabel 4.4 Proses Produksi pada Tiap Mesin

Job ke-	Baris ke-	titik-titik	Fungsi dari job
0	1	0	<i>start</i>
1	2	$m_1, m_2, m_3$	Pengguntingan ( <i>cutting</i> ). Pencucian bahan baku. Pegisian ikan ( <i>filling</i> ).
2	3	$m_1, m_2, m_3$	Pemasakan awal ( <i>pre cooking</i> ). Penghampaan ( <i>exhausting</i> ). Penutupan kaleng ( <i>seaming</i> ).
3	4	$m_1, m_2, m_3$	Sterilisasi. Pendinginan dan pengepakan
4	5	*	Finishing

Tabel 4.4 menunjukkan proses produksi dengan titik-titik  $m_1, m_2, m_3$  pada baris kedua menjelaskan tentang job 1 yang meliputi proses pengguntingan (*cutting*), pencucian bahan baku. pegisian ikan (*filling*). Kemudian untuk titik-titik  $m_1, m_2, m_3$  pada baris ketiga menjelaskan tentang fungsi job 2 yang meliputi proses *pre cooking* yaitu pemasakan awal (*pre cooking*), penghampaan (*exhausting*), penutupan kaleng (*seaming*). Sedangkan titik-titik  $m_1, m_2, m_3$  pada baris keempat adalah job 3 yaitu proses *sterilisasi* dan pendinginan.

### 4.3.2 Penjadualan untuk Proses Produksi

Hasil penelitian pada proses produksi di PT. Indo Bali didapatkan proses produksi dengan keadaan pada tiga mesin dan pada tiga job, dimana pada masing-masing memiliki fungsi yang sama. Untuk menghasilkan proses produksi yang maksimum, dapat dipresentasikan dalam bentuk graf berarah, pada graf berarah ini job pada suatu mesin dapat berpindah pada mesin lain yang berfungsi sama, sehingga penjadualan proses produksi secara umum dapat dikombinasikan dan dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Digraph Produksi secara umum

Gambar 4.2 dijelaskan bahwa setiap proses mesin bekerja sesuai dengan urutan masing-masing mulai dari *job 1*, *job 2*, dan *job 3*. Namun dalam hal ini, karena perbedaan waktu penyelesaian *job* dari setiap mesin, maka dapat dilakukan kombinasi setiap mesin untuk proses selanjutnya. Dari hasil kombinasi tersebut diperoleh sebanyak 36 cara penyelesaian dari proses pengalangan ikan tersebut. Dimana pada mesin pertama menuju mesin kedua dapat dilakukan dengan 6 cara dan dari mesin kedua menuju mesin ketiga juga dapat



diselesaikan dengan 6 cara. Jadi totalnya ada sebanyak 36 cara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5 Kombinasi *graph* setiap penyelesaian

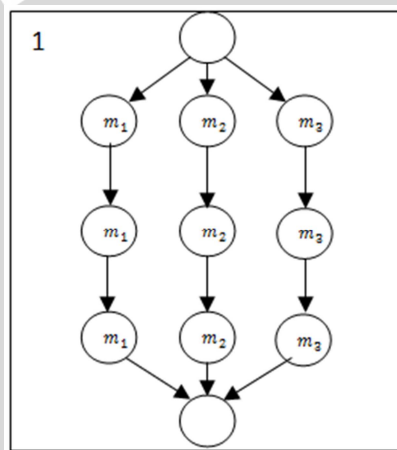
Jadual	Urutan Proses
J1	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J2	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2)$
J3	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_2, m_1, m_3)$
J4	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1)$
J5	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1)$
J6	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_3, m_1, m_2)$
J7	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2; m_1, m_3, m_2)$
J8	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2; m_1, m_2, m_3)$
J9	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2; m_2, m_3, m_1)$
J10	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2; m_3, m_1, m_2)$
J11	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_3, m_2; m_1, m_2, m_3)$
J12	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J13	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J14	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_1, m_3; m_3, m_1, m_2)$
J15	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J16	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J17	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_1, m_3; m_3, m_2, m_1)$
J18	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_1, m_3; m_1, m_3, m_2)$
J19	$(m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3)$
J20	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1; m_2, m_3, m_1)$
J21	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1; m_3, m_1, m_2)$
J22	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1; m_1, m_2, m_3)$
J23	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1; m_1, m_3, m_2)$
J24	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_2, m_1; m_2, m_1, m_3)$
J25	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1; m_2, m_3, m_1)$
J26	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1; m_3, m_2, m_1)$
J27	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_1, m_3; m_1, m_3, m_2)$
J28	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1; m_2, m_1, m_3)$
J29	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1; m_3, m_1, m_2)$
J30	$(m_1, m_2, m_3; m_2, m_3, m_1; m_1, m_2, m_3)$
J33	$(m_1, m_2, m_3; m_3, m_1, m_2; m_3, m_2, m_1)$



Sambungan Tabel 4.5 Kombinasi *graph* setiap penyelesaian

Jadual	Urutan Proses
J34	
J35	
J36	

Tabel 4.5 menjelaskan bagaimana proses produksi mulai dari awal mesin bekerja hingga akhir produksi. Misalkan, pada jadual pertama yaitu J1= , untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 *Graph* Produksi jadual pertama (J1)

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada proses mesin satu di pekerjaan pertama akan langsung menuju mesin satu di pekerjaan kedua, sesuai dengan bentuk graf pada Gambar 4.3 dan setelah pada mesin satu pekerjaan kedua selesai akan langsung dilanjutkan ke proses mesin satu pekerjaan ketiga. Begitu pula berlaku untuk mesin dua dan mesin tiga di pekerjaan satu, pekerjaan dua, dan pekerjaan tiga.

## 4.4 Pengolahan Data Menggunakan Algoritma *Ant Colony* dan Algoritma *ModifiedAnt Colony* Secara Umum

### 4.4.1 Tahap Inisialisasi Nilai Parameter

Pada tahap ini, dilakukan inisialisasi nilai parameter yang akan digunakan dalam perhitungan algoritma selanjutnya. Parameter-parameter ini secara langsung mempunyai pengaruh terhadap perhitungan probabilitas node yang akan dikunjungi.

Parameter-parameter yang digunakan dalam proses ini antara lain:

- $m$  = banyak mesin, yaitu 3 mesin.
- $n$  = banyak *job*, yaitu 3 *job*.
- $\alpha$  = parameter pengendali *intensitas* jejak *ant* (0,25).
- $\beta$  = parameter pengendali *visibilitas* (0,5).
- $\rho$  = koefisien *evaporasi pheromone* (0,75).

### 4.4.2 Proses Penghitungan *Makespan*

Istilah yang digunakan dalam perhitungan ini menurut Rajedran (2004) meliputi

- $m$ , jumlah mesin yang harus dilewati oleh setiap *job*,
- $P_{ij}$ , waktu pemrosesan yang dibutuhkan untuk mengerjakan *job i* pada mesin  $j$ ,
- $C_i$ , waktu penyelesaian yang dibutuhkan untuk mengerjakan seluruh *job* dari *job* pertama sampai selesai,
- $\sigma$ , urutan *job* yang sudah terjadual,
- $q(\sigma, j)$ , waktu penyelesaian dari urutan *job*  $\sigma$  pada mesin  $j$ ,
- $q(\sigma i, j)$ , waktu penyelesaian dari *job i* pada mesin  $j$  saat *job* dijadualkan pada urutan  $jo \sigma$ ,
- $Z_{best}$  atau *makespan time* yaitu  $\max C_i$  atau maksimum waktu penyelesaian keseluruhan *job*,
- $q(\sigma i, 0)$  yaitu waktu penyelesaian *job i* pada mesin 0 yang menyatakan bahwa belum ada proses yang berlangsung pada salah satu mesin.

Berdasarkan data *prosesing time* Tabel 4.1, diperoleh data *makespan time*. Misalkan ambil salah satu kombinasi mesin yaitu  $J=[m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3; m_1, m_2, m_3]$ , maka diperoleh perhitungan *makespan time* sebagai berikut.

$$q(\sigma i, j) = \max\{q(\sigma, j), q(\sigma i, j - 1)\} + P_{ij}$$

$$q(\sigma 1,1) = \max\{q(\sigma, 1), q(\sigma 1,0)\} + P_{11} = \max\{125; 0\} + 60 = 185$$

$$q(\sigma 1,2) = \max\{q(\sigma, 2), q(\sigma 1,1)\} + P_{12} = \max\{99; 60\} + 41 = 140$$

$$q(\sigma 1,3) = \max\{q(\sigma, 3), q(\sigma 1,2)\} + P_{13} = \max\{112; 101\} + 50 = 162$$

$$q(\sigma 2,1) = \max\{q(\sigma, 1), q(\sigma 2,0)\} + P_{21} = \max\{125; 0\} + 29 = 154$$

$$q(\sigma 2,2) = \max\{q(\sigma, 2), q(\sigma 2,1)\} + P_{22} = \max\{99; 29\} + 22 = 121$$

$$q(\sigma 2,3) = \max\{q(\sigma, 3), q(\sigma 2,2)\} + P_{23} = \max\{112; 51\} + 30 = 152$$

$$q(\sigma 3,1) = \max\{q(\sigma, 1), q(\sigma 3,0)\} + P_{31} = \max\{125; 0\} + 36 = 161$$

$$q(\sigma 3,2) = \max\{q(\sigma, 2), q(\sigma 3,1)\} + P_{32} = \max\{99; 36\} + 36 = 135$$

$$q(\sigma 3,3) = \max\{q(\sigma, 3), q(\sigma 3,2)\} + P_{33} = \max\{112; 72\} + 32 = 154$$

$$C_i = \{185,140,162; 154,121,142; 161,135,144\}$$

$$Z_{best} = \max(C_i) = 185$$

Untuk hasil *Flow time* ( $(C_i)$ ) dan *Makespan time* dari kombinasi keseluruhan mesin, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 *Flow Time* dan *Makespan* ( $(C_i)$ )

Jadual	<i>Flow Time</i> ( $(C_i)$ )	<i>Makespan</i> ( $(Max(C_i))$ )
J1	{185,140,162; 154,121,142; 161,135,144}	185
J2	{185,136,166; 154,117,148; 161,131,148}	185
J3	{185,140,162; 154,121,142; 161,135,144}	185
J4	{181,140,166; 150,121,146; 157,135,148}	181
J5	{185,136,166; 154,117,148; 161,131,148}	185
J6	{181,140,166; 150,121,146; 157,135,148}	181
J7	{185,144,158; 154,125,138; 161,139,140}	185
J8	{185,148,154; 154,129,134; 161,142,136}	185
J9	{185,144,158; 154,125,138; 161,139,140}	185

Sambungan Tabel 4.6 *Flow Time* dan *Makespan* ( $(C_i)$ )

Jadual	<i>Flow Time</i> ( $(C_i)$ )	<i>Makespan</i> ( $(Max(C_i))$ )
J10	{181,148,158; 150,129,138; 157,143,140}	181
J11	{185,148,154; 154,129,134; 161,142,136}	185
J12	{181,149,157; 150,130,137; 157,144,139}	181
J13	{178,147,162; 147,128,142; 154,142,144}	178
J14	{174,149,166; 143,130,146; 150,144,148}	174
J15	{178,147,162; 147,128,142; 154,142,144}	178
J16	{178,143,158; 147,124,138; 154,138,140}	178
J17	{174,149,166; 143,130,146; 150,144,148}	174
J18	{178,143,166; 147,124,146; 154,138,148}	178
J19	{182,140,165; 151,121,145; 158,135,147}	182
J20	{186,136,165; 155,117,145; 162,131,147}	186
J21	{182,140,165; 151,121,145; 158,135,147}	182
J22	{186,140,161; 155,121,141; 162,135,143}	186
J23	{186,136,165; 155,117,145; 162,131,147}	186
J24	{186,140,161; 155,121,141; 162,135,143}	186
J25	{178,144,165; 147,125,145; 154,139,147}	178
J26	{174,148,165; 143,129,145; 150,143,147}	174
J27	{178,144,165; 147,125,145; 154,139,147}	178
J28	{178,148,161; 147,129,141; 154,143,143}	178
J29	{174,148,165; 143,129,145; 150,143,147}	174
J30	{178,148,161; 147,129,141; 154,143,143}	178
J31	{182,147,158; 151,128,138; 158,142,140}	182
J32	{186,147,154; 155,128,134; 162,142,136}	186
J33	{182,147,158; 151,128,138; 158,142,140}	182
J34	{186,143,158; 155,124,138; 162,138,140}	186
J35	{186,147,154; 155,128,134; 162,142,136}	186
J36	{186,143,158; 155,124,138; 162,138,140}	186

Berdasarkan Tabel 4.6 diperoleh *makespan time* untuk setiap masing-masing jadual urutan proses yaitu sebesar 174, 178, 181, 182, 185, dan 186, sehingga diperlukan proses produksi paling minimum adalah 174 menit.

### 4.4.3 Proses Perhitungan Probabilitas Perubahan Lintasan

Proses ini dilakukan untuk menghitung probabilitas perubahan pada lintasan digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan *ant* dapat melalui suatu lintasan dari node-node yang boleh dikunjungi semut dari posisi semut pada suatu node.

Probabilitas perubahan pada lintasan dapat dihitung melalui rumus

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{i=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}$$

Dengan *visibilitas ant* sebagai berikut.

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{P_{ij}}$$

dan intensitas jejak *pheromone job i* diposisi *j* adalah

$$\tau_{ij}(t) = \frac{1}{(1 - \rho)Z_{best}}$$

Sebagai contoh perhitungan *visibilitas* untuk *job 1* mesin 1 dan intensitas jejak *pheromone job 1* diposisi 1 dapat dilihat pada penyelesaian berikut.

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{P_{ij}} = \frac{1}{60} = 0.0167$$

$$\tau_{ij}(t) = \frac{1}{(1 - \rho)Z_{best}} = \frac{1}{(1 - 0.75)185} = \frac{1}{46,25} = 0,0216$$

Selanjutnya adalah menghitung Probabilitas perubahan pada lintasan yaitu

$$P_{11}(t) = \frac{0,3835 \cdot 0,1291}{0,3835 \cdot 0,1291 + 0,3835 \cdot 0,1857 + 0,3835 \cdot 0,1667 + 0,3835 \cdot 0,1561 + 0,3835 \cdot 0,2132 + 0,3835 \cdot 0,1667 + 0,3835 \cdot 0,1414 + 0,3835 \cdot 0,1825 + 0,3835 \cdot 0,176} = \frac{0,04950985}{(0,049510) + (0,071214) + (0,063930) + (0,059892) + (0,081762) + (0,063917) + (0,054235) + (0,070017) + (0,067794)}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,04950985}{0,582254} \\
 &= 0,0850
 \end{aligned}$$

Jika di iterasikan sesuai dengan algoritma *ant colony* yang dijelaskan pada sub bab 2.13.4 maka nilai *makespan time* akan diurutkan mulai dari *makespan time* terkecil sampai *makespan time* terbesar dan untuk seluruh hasil dari probabilitas perubahan pada lintasan di setiap *makespan time* dengan menggunakan program matlab 2012 dapat disajikan pada tabel berikut ini. Misalkan diambil iterasi 1 sampai 10, maka diperoleh

Tabel 4.7 Probabilitas perubahan pada lintasan

Iterasi	Makespan	Probabilitas		
1	174	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1404	0,1203	0,1223
		0,1164	0,1098	0,1098
2	178	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1404	0,1203	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164
3	181	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1223	0,1404	0,1203
		0,1164	0,1098	0,1098
4	182	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1223	0,1404
		0,1164	0,1098	0,1098
5	185	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1223	0,1404	0,1203
		0,1098	0,1098	0,1164
6	186	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1404	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164
7	186	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1404	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164

Sambungan Tabel 4.7 Probabilitas perubahan pada lintasan

Iterasi	Makespan	Probabilitas		
8	186	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1404	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164
9	186	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1404	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164
10	186	0,0850	0,1029	0,0931
		0,1203	0,1404	0,1223
		0,1098	0,1098	0,1164

Tabel 4.7 menjelaskan bahwa pada iterasi ke-7 nilai probabilitasnya akan konvergen, ini terjadi karena nilai *makespan time* untuk selanjutnya akan sama. Nilai 0,0850 pada iterasi 1 menjelaskan bahwa probabilitas perubahan lintasan pada mesin 1 pekerjaan pertama memiliki peluang keberhasilan sebesar 0,0850 begitu juga untuk nilai probabilitas dimasing-masing urutan pekerjaan sesuai dengan nilai *makespan time* dan hasil ini juga sesuai dengan perhitungan manual yang dapat dilihat pada Lampiran 1.

#### 4.4.4 Perhitungan-perhitungan Update Pheromone

*Pheromone* adalah bobot pada setiap lintasan yang digunakan untuk menempatkan *job i* pada posisi *j*. Perhitungan *update pheromone* digunakan untuk mengetahui urutan mesin yang digunakan pada perusahaan.

##### 4.4.4.1 Perhitungan Update Pheromone untuk Ant Colony

*Update pheromone* untuk algoritma *ant colony* dapat dihitung dengan menggunakan dua tahapan yaitu *Update pheromone* lokal yang digunakan untuk mengetahui *Update pheromone* dalam proses produksi pada satu mesin di satu pekerjaan dan *Update pheromone* global yang digunakan untuk mengetahui *Update pheromone* dalam proses produksi yang meliputi keseluruhan pekerjaan. Untuk kedua tahapan ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

**a. Perhitungan *update pheromone* lokal antar node untuk siklus berikutnya.**

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij} \cdot c}$$

Contoh perhitungan *update pheromone* lokal secara manual

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij} \cdot c} = \frac{1}{60 \cdot 9}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned} \tau_{11} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,007136139 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *update pheromone* dengan bantuan program Matlab 2012 secara keseluruhan untuk masing-masing *makespan time* dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.8 *Update Pheromon Lokal*

Iterasi	<i>Makespan</i>	<i>Update Pheromone Lokal</i>		
1	174	0,0071	0,0078	0,0074
		0,0095	0,0085	0,0086
		0,0084	0,0081	0,0081
2	178	0,0070	0,0077	0,0073
		0,0094	0,0084	0,0085
		0,0079	0,0079	0,0082
3	181	0,0069	0,0076	0,0072
		0,0084	0,0093	0,0083
		0,0081	0,0078	0,0078
4	182	0,0069	0,0075	0,0072
		0,0083	0,0084	0,0093
		0,0081	0,0078	0,0078
5	185	0,0068	0,0074	0,0071
		0,0083	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080
6	186	0,0068	0,0074	0,0070
		0,0082	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080

Sambungan Tabel 4.8 *Update Pheromon Lokal*

Iterasi	Makespan	Update Pheromone Lokal		
7	186	0,0068	0,0074	0,0070
		0,0082	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080
8	186	0,0068	0,0074	0,0070
		0,0082	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080
9	186	0,0068	0,0074	0,0070
		0,0082	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080
10	186	0,0068	0,0074	0,0070
		0,0082	0,0092	0,0082
		0,0077	0,0077	0,0080

Tabel 4.8 menjelaskan tentang *update pheromone* lokal yaitu perubahan nilai *pheromone* yang ditinjau dari sisi banyaknya penguapan *pheromone*, hanya fokus terhadap satu mesin saja di satu pekerjaan dan dibutuhkan untuk mengetahui urutan mesin yang akan digunakan. Misalkan nilai 0,0071 mengindikasikan bahwa perubahan nilai *pheromone* pada mesin satu pekerjaan pertama untuk mengetahui nilai perubahannya menuju ke pekerjaan selanjutnya yaitu sebesar 0,0071 pada *makespan time* 174. Begitu pula untuk *update pheromone* yang lain. Perhitungan *update pheromone* lokal secara manual dapat dilihat pada Lampiran 2.

**b. Perhitungan *update pheromon* global antar node untuk siklus berikutnya.**

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{gb}}$$

Contoh perhitungan *update pheromone* global secara manual

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{gb}} = \frac{1}{114}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\tau_{11} = (1 - 0,25) \cdot 0,007136139 + 0,25 \cdot 0,0088 = 0,00755$$

Hasil perhitungan *update pheromone* global dengan bantuan program Matlab 2012 diperoleh secara keseluruhan untuk masing-masing *makespan time* yang dapat disajikan pada tabel berikut dengan iterasi yang diambil sampai dengan 10.

Tabel 4.9 *Update Pheromon Global*

Iterasi	Makespan	Update Pheromone Global		
1	174	0,0076	0,0085	0,0080
		0,0113	0,0110	0,0105
		0,0132	0,0130	0,0138
2	178	0,0075	0,0084	0,0079
		0,0112	0,0109	0,0104
		0,0129	0,0129	0,0140
3	181	0,0074	0,0083	0,0078
		0,0104	0,0116	0,0103
		0,0130	0,0128	0,0137
4	182	0,0074	0,0083	0,0078
		0,0103	0,0109	0,0110
		0,0130	0,0128	0,0137
5	185	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0103	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138
6	186	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0102	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138
7	186	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0102	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138
8	186	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0102	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138



Sambungan Tabel 4.9 *Update Pheromon Global*

Iterasi	Makespan	<i>Update Pheromone Global</i>		
9	186	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0102	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138
10	186	0,0073	0,0082	0,0077
		0,0102	0,0115	0,0102
		0,0127	0,0127	0,0138

Tabel 4.9 menjelaskan tentang *update pheromone global* yaitu perubahan nilai *pheromone* yang ditinjau dari sisi tingginya jejak semut yang meninggalkan *pheromone*, melakukan tur terbaik dari keseluruhan graf, dan perubahan nilai *pheromone* ini terjadi secara global yang meliputi pekerjaan pertama, kedua, dan ketiga dengan nilai perubahan *pheromone* adalah invers dari tur terbaik yang dilakukan pada proses produksi karena itulah parameter yang digunakan adalah pengendali *intensitas jejak ant* ( $\alpha$ ). Misalkan nilai pada  $\tau_{11}$  tur terbaiknya diperoleh pada mesin 1 pekerjaan pertama langsung menuju ke pekerjaan 2 pada mesin 2 dan dilanjutkan ke pekerjaan ke 3 pada mesin 3 sebesar 114. Sehingga nilai  $\tau_{11}=0,0076$ . Inilah yang membedakan dengan *update pheromone lokal*, dimana *update pheromone lokal* hanya fokus terhadap 1 mesin, sedangkan untuk *update pheromone global* fokus pada 3 mesin. Perhitungan *update pheromone global* secara manual dapat dilihat pada Lampiran 3.

**c. Perhitungan *update pheromon Algorithm Modified Ant Colony* antar node untuk siklus berikutnya.**

*Algorithm Modified Ant Colony* hanya terdapat satu *update pheromon* dimana pada *update* ini menggunakan koefisien *evaporasi pheromone*, yang pada *Algorithm Ant Colony* digunakan untuk mengetahui *update pheromon lokal*. Sementara untuk  $\Delta\tau_{ij}$  menggunakan *update pheromon global*, sehingga diperoleh rumus baru untuk *update pheromone Modified Ant Colony* sebagai berikut.

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

Contoh perhitungan *update pheromone modified ant colony* secara manual.

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{114}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\tau_{11} = \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,007136139 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,0088 \right]$$

$$\tau_{11} = 0,0078$$

Hasil dari perhitungan dengan bantuan *software matlab 2012* diperoleh *update pheromon* untuk masing-masing *makespan* pada iterasi 1 sampai dengan 10 dapat disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.10 *Update Pheromon Modified Ant Colony Algorithm*

Iterasi	Makespan	Update Pheromon Modified Ant Colony		
1	174	0,0078	0,0089	0,0084
		0,0125	0,0128	0,0118
		0,0167	0,0165	0,0180
2	178	0,0078	0,0089	0,0083
		0,0124	0,0127	0,0118
		0,0164	0,0164	0,0181
3	181	0,0077	0,0088	0,0082
		0,0118	0,0133	0,0116
		0,0166	0,0164	0,0179
4	182	0,0077	0,0088	0,0082
		0,0118	0,0127	0,0122
		0,0165	0,0164	0,0178
5	185	0,0077	0,0088	0,0082
		0,0118	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179

Sambungan Tabel 4.10 *Update Pheromon Modified Ant Colony Algorithm*

Iterasi	Makespan	<i>Update Pheromon Modified Ant Colony</i>		
6	186	0,0076	0,0087	0,0081
		0,0117	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179
7	186	0,0076	0,0087	0,0081
		0,0117	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179
8	186	0,0076	0,0087	0,0081
		0,0117	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179
9	186	0,0076	0,0087	0,0081
		0,0117	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179
10	186	0,0076	0,0087	0,0081
		0,0117	0,0132	0,0116
		0,0163	0,0163	0,0179

Perubahan nilai *pheromone* pada *update pheromone Modified Ant Colony* terjadi secara global yang meliputi pekerjaan pertama, kedua, dan ketiga dengan nilai perubahan *pheromone* adalah invers dari tur terbaik yang dilakukan pada proses produksi. Sementara untuk mengetahui secara lokalnya dipakai parameter koefisien *evaporasi pheromone* ( $\rho$ ). Hal inilah yang membedakan antara *Ant Colony Algorithm* dengan *Modified Ant Colony Algorithm*. Dimana, pada *Modified Ant Colony Algorithm* hanya akan ditentukan satu kali *update pheromone* sehingga tidak perlu mengetahui *update pheromone* secara lokal dan secara global, cukup dengan satu kali *update pheromone*.

Misalkan pada  $\tau_{11}$  tur terbaiknya menggunakan *update pheromone* global dan *update pheromone* pada  $\tau_{11}$  adalah sebesar 0,0078, berbeda dengan *Ant Colony Algorithm* yang *update pheromone* lokalnya sebesar 0,0071 dan *update pheromone*

globalnya sebesar 0,0076. Nilai *update pheromone* pada *Modified Ant Colony Algorithm* lebih besar karena mencakup keseluruhan proses produksi.

Penjelasan cara membaca nilai *update pheromone* pada *Modified Ant Colony Algorithm* sama halnya seperti pembacaan pada *update pheromone* lokal ataupun global pada *Ant Colony Algorithm* dan untuk perhitungan manualnya sesuai dengan hasil numeriknya yang perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan *Update Pheromone*

Makes -pan	Update Pheromone Lokal			Update Pheromone Global			Update Pheromone Modified Ant Colony		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
174	0,0071	0,0078	0,0074	0,0076	0,0085	0,0080	0,0078	0,0089	0,0084
	0,0095	0,0085	0,0086	0,0113	0,0110	0,0105	0,0125	0,0128	0,0118
	0,0084	0,0081	0,0081	0,0132	0,0130	0,0138	0,0167	0,0165	0,0180
178	0,0070	0,0077	0,0073	0,0075	0,0084	0,0079	0,0078	0,0089	0,0083
	0,0094	0,0084	0,0085	0,0112	0,0109	0,0104	0,0124	0,0127	0,0118
	0,0079	0,0079	0,0082	0,0129	0,0129	0,0140	0,0164	0,0164	0,0181
181	0,0069	0,0076	0,0072	0,0074	0,0083	0,0078	0,0077	0,0088	0,0082
	0,0084	0,0093	0,0083	0,0104	0,0116	0,0103	0,0118	0,0133	0,0116
	0,0081	0,0078	0,0078	0,0130	0,0128	0,0137	0,0166	0,0164	0,0179
182	0,0069	0,0075	0,0072	0,0074	0,0083	0,0078	0,0077	0,0088	0,0082
	0,0083	0,0084	0,0093	0,0103	0,0109	0,0110	0,0118	0,0127	0,0122
	0,0081	0,0078	0,0078	0,0130	0,0128	0,0137	0,0165	0,0164	0,0178
185	0,0068	0,0074	0,0071	0,0073	0,0082	0,0077	0,0077	0,0088	0,0082
	0,0083	0,0092	0,0082	0,0103	0,0115	0,0102	0,0118	0,0132	0,0116
	0,0077	0,0077	0,0080	0,0127	0,0127	0,0138	0,0163	0,0163	0,0179
186	0,0068	0,0074	0,0070	0,0073	0,0082	0,0077	0,0076	0,0087	0,0081
	0,0082	0,0092	0,0082	0,0102	0,0115	0,0102	0,0117	0,0132	0,0116
	0,0077	0,0077	0,0080	0,0127	0,0127	0,0138	0,0163	0,0163	0,0179

Tabel 4.11 menjelaskan tentang *update pheromone* dari algoritma *ant colony* dan *modified ant colony*, untuk *update pheromone* lokal menunjukkan perubahan nilai *pheromone* yang ditinjau dari sisi banyaknya penguapan *pheromone*, hanya fokus terhadap satu mesin dan satu pekerjaan. Pada *update pheromone* global, perubahan nilai *pheromone* terjadi secara global yang meliputi pekerjaan pertama, kedua, dan ketiga dengan nilai perubahan *pheromone* adalah invers dari tur terbaik yang dilakukan pada proses produksi. Perubahan nilai *pheromone* pada *update pheromone Modified Ant Colony* terjadi secara global dengan nilai

perubahan *pheromone* adalah invers dari tur terbaik, sementara untuk mengetahui secara lokalnya dipakai parameter penguapan *pheromone*.

Perbandingan perhitungan *Update Pheromone* dapat dilihat dari Tabel 4.11. Misalkan pada perhitungan *makespan time* terkecil yaitu 174, *update pheromone* lokal di mesin pertama (m1) pada pekerjaan pertama diperoleh *update* sebesar 0,0071, untuk mesin pertama pekerjaan pertama pada *update pheromone* global diperoleh sebesar 0,0076, dan untuk mesin pertama pekerjaan pertama pada *update pheromone modified ant colony* diperoleh *update* sebesar 0,0078, hal inilah yang membedakan antara kedua algoritma tersebut dan *update pheromone* berkinerja terbaik adalah milik algoritma *modified ant colony* karena memiliki nilai yang terbesar yaitu sebesar 0,0078 dalam perhitungan numerik menggunakan program matlab 2012. Listing program dapat dirujuk pada Lampiran 5.





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari skripsi ini adalah:

1. Algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* sangat efektif untuk penyelesaian penjadwalan produksi *flow shop* khususnya yang telah diteliti pada PT. Indo Bali, dimana hasil *makespan time*-nya dapat dihemat selama 8,167 menit atau lebih hemat 2,167 menit dari target penyelesaian produksi.
2. Algoritma *Modified Ant Colony* lebih efektif dibandingkan dengan algoritma *Ant Colony* dalam mengetahui *update pheromone* dari keseluruhan *job* pada penjadwalan produksi *flow shop*, karena pada *Algorithm Modified Ant Colony* hanya terdapat satu *update pheromon* dimana pada *update* ini menggunakan koefisien *evaporasi pheromone*, yang pada *Algorithm Ant Colony* digunakan untuk mengetahui *update pheromon* lokal, sementara untuk  $\Delta\tau_{ij}$  menggunakan *update pheromon* global. Sehingga tidak harus mengetahui *update pheromon* secara lokal dan globalnya, namun dapat langsung mengetahui *update pheromon* secara keseluruhan dari semua proses produksi.
3. Hasil simulasi numerik *Update pherome* algoritma *Modified Ant Colony* dan algoritma *Ant Colony* adalah untuk memverifikasi perhitungan manual dari kedua *update* tersebut, dan *update pheromone* algoritma *Modified Ant Colony* berkinerja lebih baik dibandingkan dengan *update pheromone* algoritma *Ant Colony*.

### 5.2 Saran

Penelitian penjadwalan dengan algoritma *Ant Colony* dan *Modified Ant Colony* pada skripsi ini hanya diterapkan pada 3 mesin dan 3 *job*, untuk selanjutnya dapat diterapkan pada proses produksi dengan *job* dan mesin yang lebih banyak dan mampu mengetahui perbedaan yang lebih baik lagi antara Algoritma *Ant Colony* dan algoritma *Modified Ant Colony* agar memperbaiki program ini menjadi lebih baik.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachaman, E. (1999). *Konsep Dasar Markov Chain Serta Kemungkinan Penerapannya di Bidang Pertanian*. <http://www.litbang.deptan.go.id/warta-ip/pdf-file/edi.pdf>  
Tanggal akses 18 Oktober 2012, hal 499-503.
- Adam, E. E. and Ebert, R. J., (1992). *Production and Operation Management*, 5<sup>th</sup> edition. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Baker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley and Sons, Inc.
- Bauer, A. (1999). *An Ant Colony Optimization Approach for The Single Machine Total Tardiness Problem*. Departement of Management Science University of Vienna.
- Betratianis dan Teguh, P., (2003). *Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop*. Institute Teknologi Bandung: Bandung.
- Chartarand, G. dan Ping Zhang. 2005. *Introduction to Graph Theory*. Singapore: The McGraw-Hill Companies.
- Dorigo, M. (1996). *The Ant System : Optimization By A Colony Of Cooperating Agents:Italia*.
- Dorigo, M. and Gianni, D. C., Luca, M. G. (1999). *Ant Algorithms for Discrete Optimization*, Research Paper.
- Dorigo, M., Bonabeau, E., and Theraulaz, G. (2000). *Ant Algorithm and Stigmergy*. Future Generation Computer system, 16(8), 851-871.
- Dorigo, M and Thomas, S. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.

French, K. (1982). *Sequencing and Sceduling An Introduction to The Mathematics of The Job Shop*. Ellis Horwood, Chichester.

Harju, T. (2007). *Lecture Notes on Graph Theory*. Department of Mathematical, University of Turku, Finland. Hal. 3-11.

Imamah, N. (2011). *Penerapan Algoritma Ant Colony pada Penjadualan Produksi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Marsudi. (2006). *Pengantar Teori Graf*, Fakultas Matematika dan. Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

Morton, T. E. and Pentico, D. W. (1993). *Heuristic Scheduling Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Munir, R. (2005), *Matematika Diskrit*. Iformatika: Bandung.

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

Rosnani, G. (2009). *Penjadwalan Mesin*. Graha ilmu: Yogyakarta.

Mathiyalagan, P. Suriya, S. and Sivanandam, S. N. (2010). Modified Ant Colony Algorithm for Grid Scheduling. *International Journal on Computer Science and Engineering* Vol. 02, No. 02, 2010, 132-139.

Spiegel, M. R. (1982). *Schaum's outline of theory and problem of probability and statistic*. McGraw Hills Singapore. Hal 2-7.

Suherman, A., dan Dault, A. (2008). Dampak Sosial Ekonomi Pembangunan dan Pengembangan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Pengambangan Jembrana. *Jurnal Saintek Perikanan*, Vol. 4, No. 2, 2009.

Wardy, I. S. 2007. Penggunaan Graf dalam Algoritma Semut Untuk Melakukan Optimasi. Jurusan Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung.

Wilson, R. J., and Watkins, J. J. (1990). *Graph An Introductory Approach, A First Course in Discrete Mathematics*. John Willey and Sons, New York.





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 1: Perhitungan probabilitas intensitas jejak *ant* antar node

Rumus

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}^\beta]}{\sum_{i=1}^n [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)^\beta]}$$

Waktu Pemrosesan Mesin		
60	41	50
29	22	30
36	36	32

[ $\eta_{ij}^\beta$ ]		
0.1290994	0.156174	0.141421
0.1856953	0.213201	0.182574
0.1666667	0.166667	0.176777

Perhitungan probailitas untuk *makespan* 174

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{60}\right)^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{60}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{29}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{41}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{22}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{30}\right)^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{50}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{32}\right)^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1291}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,050269}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,049984}{0,591192} \\
 &= 0,08503
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{21} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{29}\right)^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{60}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{29}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{41}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{22}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{50}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{30}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{32}\right)^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1857}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,072307}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,072307}{0,591192} \\
 &= 0,12230
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{31} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{60}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{29}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{41}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{22}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{50}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{30}\right)^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{1}{32}\right)^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1667}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,064897}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,064897}{0,591192} \\
 &= 0,1098
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{12} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
&+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
&+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
&= \frac{0,3894 \cdot 0,1562}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
&+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
&+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
&= \frac{0,060812}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
&+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
&+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
&= \frac{0,060812}{0,591192} \\
&= 0,10286
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{22} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
&+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
&+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
&= \frac{0,3894 \cdot 0,2132}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
&+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
&+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
&= \frac{0,083017}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
&+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
&+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
&= \frac{0,083017}{0,591192} \\
&= 0,1404
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{32} &= \frac{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}}{\left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1667}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,064897}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,064897}{0,591192} \\
 &= 0,1098
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{13} &= \frac{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}}{\left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left[\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right]^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1414}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,055067}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,055067}{0,591192} \\
 &= 0,0931
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 P_{23} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1826}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,071091}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,071091}{0,591192} \\
 &= 0,12025
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{33} &= \frac{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}}{\left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{60}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{29}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\}} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{41}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{22}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{36}\right]^{0.5}\right\} \\
 &+ \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{50}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{30}\right]^{0.5}\right\} + \left\{\left(\frac{1}{(1-0.75)^{174}}\right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{32}\right]^{0.5}\right\} \\
 &= \frac{0,3894 \cdot 0,1768}{\{(0,3894 \cdot 0,1291) + (0,3894 \cdot 0,1857) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1562) + (0,3894 \cdot 0,2132) + (0,3894 \cdot 0,1667) \\
 &+ (0,3894 \cdot 0,1414) + (0,3894 \cdot 0,1826) + (0,3894 \cdot 0,1768)\}} \\
 &= \frac{0,068834}{\{(0,050269) + (0,072307) + (0,064897) \\
 &+ (0,060812) + (0,083017) + (0,064897) \\
 &+ (0,055067) + (0,071091) + (0,068834)\}} \\
 &= \frac{0,068834}{0,591192} \\
 &= 0,1164
 \end{aligned}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 2: Perhitungan *update pheromone* lokal

Rumus:

*Update pheromone* lokal

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

Dengan

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij} \cdot c}$$

$$\rho = 0,75$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} \text{ lokal}$$

waktu pemrosesan mesin		
60	41	50
29	22	30
36	36	32

$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij} \cdot c}$		
0,001851852	0,00271	0,002222
0,003831418	0,005051	0,003704
0,00308642	0,003086	0,003472

*Update pheromone* lokal untuk *makespan* 174

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned} \tau_{11} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,007136139 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned} \tau_{21} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,008620814 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned} \tau_{31} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,008062065 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{12} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,00778\end{aligned}$$

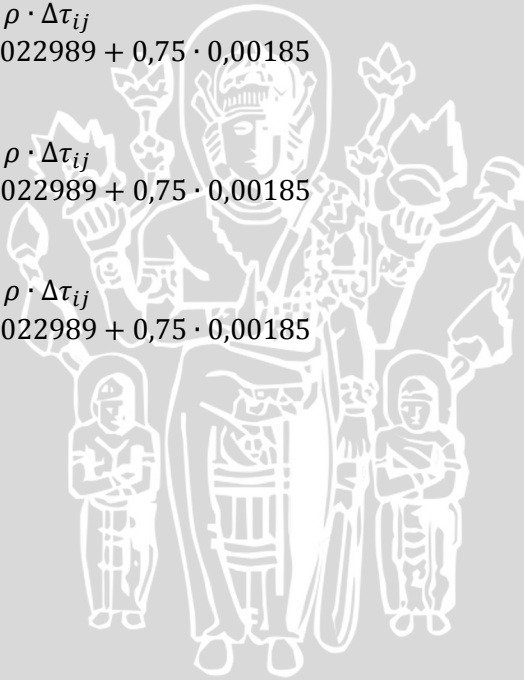
$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{22} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,009536\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{32} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,008062\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{13} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,007414\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{23} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,008525\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{ij} &\leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij} \\ \tau_{33} &= (1 - 0,75) \cdot 0,022989 + 0,75 \cdot 0,00185 \\ &= 0,008351\end{aligned}$$



### Lampiran 3: Perhitungan update pheromone global

Rumus:

Update pheromone global

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

Dengan

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{gb}}$$

$$\alpha = 0,75$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} \text{ lokal}$$

$P_{gb}$		
114	95	104
61	54	62
36	36	32

$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{gb}}$		
0,00877193	0,010526	0,009615
0,01639344	0,018519	0,016129
0,02777778	0,027778	0,03125

Update pheromone global untuk makespan 174

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\tau_{11} = (1 - 0,25) \cdot 0,007136139 + 0,25 \cdot 0,00877193 = 0,0075521$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\tau_{21} = (1 - 0,25) \cdot 0,008620814 + 0,25 \cdot 0,01639344 = 0,01056561$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\tau_{31} = (1 - 0,25) \cdot 0,008062065 + 0,25 \cdot 0,02777778 = 0,01299655$$



$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{12} &= (1 - 0,25) \cdot 0,00778 + 0,25 \cdot 0,010526 \\ &= 0,00846\end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{22} &= (1 - 0,25) \cdot 0,009536 + 0,25 \cdot 0,018519 \\ &= 0,011777\end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{32} &= (1 - 0,25) \cdot 0,008062 + 0,75 \cdot 0,027778 \\ &= 0,013222\end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{13} &= (1 - 0,25) \cdot 0,007414 + 0,75 \cdot 0,009615 \\ &= 0,007961\end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{23} &= (1 - 0,25) \cdot 0,008525 + 0,75 \cdot 0,016129 \\ &= 0,010419\end{aligned}$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_{ij} + \alpha \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\begin{aligned}\tau_{33} &= (1 - 0,25) \cdot 0,008351 + 0,75 \cdot 0,03125 \\ &= 0,014063\end{aligned}$$



Lampiran 4: Perhitungan update pheromone Modified Ant Colony Algorithm

Rumus:

Update pheromone Algorithm Modified Ant Colony

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\rho = 0,75$$

$P_{gb}$		
114	114	114
61	61	61
36	36	36

$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{gb}}$		
0,00877193	0,00877193	0,00877193
0,01639344	0,01639344	0,01639344
0,02777778	0,02777778	0,02777778

Update pheromone Modified Ant Colony Algorithm untuk makespan 174

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{11} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,007136139 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,00877193 \right] \\ &= 0,0078492 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{21} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,008620814 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,01639344 \right] \\ &= 0,0119548 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{31} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,008062065 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,02777778 \right] \\ &= 0,0165212 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{12} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,00778 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,010526 \right] \\ &= 0,00895 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{22} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,009536 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,018519 \right] \\ &= 0,01338 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{32} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,008062 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,027778 \right] \\ &= 0,01691 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{13} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,007414 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,009615 \right] \\ &= 0,00854 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{23} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,008525 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,016129 \right] \\ &= 0,01177 \end{aligned}$$

$$\tau_{ij}(t)_{new} = \left[ \left\{ \frac{1}{(1+\rho)} \cdot \tau_{ij}(t)_{old} + \frac{\rho}{(1+\rho)} \cdot \Delta\tau_{ij} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned} \tau_{33} &= \left[ \frac{1}{(1+0,75)} \cdot 0,008351 + \frac{0,75}{(1+0,75)} \cdot 0,03125 \right] \\ &= 0,01814 \end{aligned}$$

### Lampiran 5: Listing program

No	Source code
1	<code>% Program ant colony</code>
2	<code>clear all;clc;</code>
3	<code>tic</code>
4	<code>disp('Program ant colony')</code>
5	<code>disp('Indah Mustika Dewi (0810940007)')</code>
6	<code>% Tahap I : inisialisasi parameter</code>
7	<code>% seed sequence</code>
8	
9	<code>a1=[60,41,50];</code>
10	<code>a2=[29,22,30];</code>
11	<code>a3=[36,36,32];</code>
12	<code>n=length (a2);</code>
13	
14	<code>for j=1:n</code>
15	<code>for i=1:n</code>
16	<code>if i==1</code>
17	<code>c1(i)=a2(n);</code>
18	<code>c2(i)=a3(n);</code>
19	<code>else</code>
20	<code>c1(i)=a2(i-1);</code>
21	<code>c2(i)=a3(i-1);</code>
22	<code>end</code>
23	<code>end</code>
24	<code>a2=c1;</code>
25	<code>a3=c2;</code>
26	<code>a(j,:)=a2;</code>
27	<code>b(j,:)=a3;</code>
28	<code>for i=2:n</code>
29	<code>if i==2</code>
30	<code>c1(i)=a2(n);</code>
31	<code>c2(i)=a3(n);</code>
32	<code>else</code>
33	<code>c1(i)=a2(i-1);</code>
34	<code>c2(i)=a3(i-1);</code>
35	<code>end</code>
36	<code>end</code>
37	<code>b1=c1;</code>
38	<code>b2=c2;</code>
39	<code>a(3+j,:)=b1;</code>

40	b(3+j,:) = b2;
41	end
42	z=0;
43	for i=1:length(a)
44	for j=1:length(b)
45	z=z+1;
46	t{z}=[a1;a(i,:);b(j,:)];
47	fprintf('t{%d}=\n',z);
48	disp(t{z})
49	end
50	end
51	
52	rho=0.75;
53	alpha=0.25;
54	beta=0.5;
55	
56	for w=1:36
57	for i=1:3
58	for j=1:3
59	if i==1&&j==1
60	q1(i,j)=t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j)
61	+t{w}(i+2,j);
62	q2(i,j)=0;
63	if q1(i,j)>q2(i,j)
64	makq=q1(i,j);
65	else
66	makq=q2(i,j);
67	end
68	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
69	end
70	if i==1&&j==2
71	q1(i,j)=t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j)
72	+t{w}(i+2,j);
73	q2(i,j)=t{w}(i,j-1);
74	if q1(i,j)>q2(i,j)
75	makq=q1(i,j);
76	else
77	makq=q2(i,j);
78	end
79	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
80	end



81	if i==1&&j==3
82	q1(i,j)=t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j)
83	+t{w}(i+2,j);
84	q2(i,j)=t{w}(i,j-1)+t{w}(i,j);
85	if q1(i,j)>q2(i,j)
86	makq=q1(i,j);
87	else
88	makq=q2(i,j);
89	end
90	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
91	end
92	if i==2&&j==1
93	q1(i,j)=t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j);
94	q2(i,j)=0;
95	if q1(i,j)>q2(i,j)
96	makq=q1(i,j);
97	else
98	makq=q2(i,j);
99	end
100	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
101	end
102	if i==2&&j==2
103	q1(i,j)=t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j);
104	q2(i,j)=t{w}(i,j-1);
105	if q1(i,j)>q2(i,j)
106	makq=q1(i,j);
107	else
108	makq=q2(i,j);
109	end
110	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
111	end
112	if i==2&&j==3
113	q1(i,j)=t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j)+t{w}(i+1,j);
114	q2(i,j)=t{w}(i,j-1)+t{w}(i,j);
115	if q1(i,j)>q2(i,j)
116	makq=q1(i,j);
117	else
118	makq=q2(i,j);
119	end
121	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
121	end

122	if i==3&&j==1
123	q1(i,j)=t{w}(i-2,j)+t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j);
124	q2(i,j)=0;
125	if q1(i,j)>q2(i,j)
126	makq=q1(i,j);
127	else
128	makq=q2(i,j);
129	end
130	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
141	end
142	if i==3&&j==2
143	q1(i,j)=t{w}(i-2,j)+t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j);
144	q2(i,j)=t{w}(i,j-1);
145	if q1(i,j)>q2(i,j)
146	makq=q1(i,j);
147	else
148	makq=q2(i,j);
149	end
150	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
151	end
152	if i==3&&j==3
153	q1(i,j)=t{w}(i-2,j)+t{w}(i-1,j)+t{w}(i,j);
154	q2(i,j)=t{w}(i,j-1)+t{w}(i,j);
155	if q1(i,j)>q2(i,j)
156	makq=q1(i,j);
157	else
158	makq=q2(i,j);
159	end
160	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
161	end
162	end
163	end
164	q(i,j)=makq+t{w}(i,j);
165	%menentukan makespan
166	z1=max(q);
167	z=max(z1);
168	%manentukan probabilitas intensitas jejak ant
169	Tmax=1/((1-rho)*z);
170	%Tmax
171	T=ones(3)*Tmax;
172	Tl=T';

173	<code>%disp('Nilai T(ij) prob');</code>
174	<code>%T1</code>
175	<code>Etha=1./t{w};</code>
176	<code>for i=1:3</code>
177	<code>    for j=1:3</code>
178	<code>        Etha(i,j)=Etha(i,j)^beta;</code>
179	<code>    end</code>
180	<code>end</code>
181	<code>%Etha</code>
182	<code>for i=1:3</code>
183	<code>    for j=1:3</code>
184	<code>        T1(i,j)=T1(i,j)^alpha;</code>
185	<code>    end</code>
186	<code>end</code>
187	<code>%disp('Nilai T(ij) alpha');</code>
188	<code>%T1</code>
189	
190	<code>P_bawah=T1*Etha;</code>
191	<code>sum =P_bawah(1,1)+P_bawah(1,2)+P_bawah(1,3);</code>
192	<code>%sum</code>
193	
194	<code>P=ones(3);</code>
195	<code>for i=1:3</code>
196	<code>    for j=1:3</code>
197	<code>        P(i,j)=T1(i,j)*Etha(i,j)/sum;</code>
198	<code>    end</code>
199	<code>end</code>
200	<code>%P</code>
201	<code>%update pheromone lokal</code>
202	<code>c=9;</code>
203	<code>delta_T=1./(t{w}*c);</code>
204	<code>%delta_T</code>
205	<code>for i=1:3</code>
206	<code>    for j=1:3</code>
207	<code>        T_lok(i,j)=(1-rho)*T(i,j)+rho*delta_T(i,j);</code>
208	<code>    end</code>
209	<code>end</code>
210	<code>T_lok=T_lok;</code>
211	<code>%T_lok</code>
212	<code>%update pheremone global</code>
213	<code>delta1_T=[0.0088,0.0105,0.0096;0.0164,0.0185,0</code>

214	.0161;0.0278,0.0278,0.0312];
215	for i=1:3
216	for j=1:3
217	T_glob(i,j)=(1-alpha)*T_lok(i,j)
218	+alpha*delta_T(i,j);
219	end
220	end
221	T_glob=T_glob;
222	%T_glob
223	%update pheremone modified
224	for i=1:3
225	for j=1:3
226	T_mod(i,j)=(1/(1+rho))*T_lok(i,j)+
227	(rho/(1+rho))*delta_T(i,j);
228	end
229	end
230	%(1/(1+rho))
231	%T_lok
232	%(1/(1+rho))*T_lok
233	%(rho/(1+rho))
234	%delta_T
235	%(rho/(1+rho))*delta_T
236	T_mod =T_mod;
237	%T_mod
238	
239	zet(w)=z;
240	Pe{w}=P;
241	T_lokal{w}=T_lok;
242	T_global{w}=T_glob;
243	T_modifikasi{w}=T_mod;
244	end
245	
246	for i=1:36
247	for j=1:36
248	if zet(i)<zet(j)
249	q1=zet(i);
240	zet(i)=zet(j);
251	zet(j)=q1;
252	
253	q2=Pe(i);

254	Pe(i)=Pe(j);
255	Pe(j)=q2;
256	
257	q3=T_lokal(i);
258	T_lokal(i)=T_lokal(j);
259	T_lokal(j)=q3;
260	
261	q4=T_global(i);
262	T_global(i)=T_global(j);
263	T_global(j)=q4;
264	
265	q5=T_modifikasi(i);
266	T_modifikasi(i)=T_modifikasi(j);
267	T_modifikasi(j)=q5;
268	end
269	end
270	end
271	
272	for i=1:36
273	i
274	fprintf('z=%d\n',zet(i));
275	fprintf('P=\n');disp(Pe{i});
276	fprintf('T_lokal=\n');disp(T_lokal{i});
277	fprintf('T_global=\n');disp(T_global{i});
278	fprintf('T_modifikasi=\n');disp(T_modifikasi{i
279	});
280	end
281	time_t=toc



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

