

SKRIPSI

**ALGORITMA ANT COLONY UNTUK PERMASALAHAN
MULTI OBJECTIVE FLOWSHOP SCHEDULING**



Kevin Jonathan

NPM: 2014730020

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2019**

UNDERGRADUATE THESIS

**ANT COLONY ALGORITHM FOR MULTI OBJECTIVE
FLOWSHOP SCHEDULING PROBLEMS**



Kevin Jonathan

NPM: 2014730020

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

ALGORITMA ANT COLONY UNTUK PERMASALAHAN MULTI OBJECTIVE FLOWSHOP SCHEDULING

Kevin Jonathan

NPM: 2014730020

Bandung, 10 Desember 2019

Menyetujui,

Pembimbing

Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni

Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji

Luciana Abednego, M.T.

Rosa De Lima, M.Kom.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

ALGORITMA ANT COLONY UNTUK PERMASALAHAN MULTI OBJECTIVE FLOWSHOP SCHEDULING

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 10 Desember 2019

Meterai Rp. 6000

Kevin Jonathan
NPM: 2014730020

ABSTRAK

Lorem ipsum dolor sit amet, ex quo dui discere facilis, gloriatur democritum mea ex. Eu periculis voluptatum assueverit eam, in mea oblique adipisci hendrerit, illud aliquando ne ius. Cu invidunt constituam vix, vidisse moderatius reprehendunt his cu. Movet graece ne sit.

Cu omnis homero omnium nec, eu ubique mollis vivendo eos. Et soleat mandamus scriptorem duo. Ne eos alii euripidis sententiae. Soleat quaestio sit id, eam delenit fuisset assueverit an. In mei laboramus voluptatum. Usu cu possim impetus, pri inermis consulatu et, an affert abhorreant vis.

Usu an mediocrem dissentiunt delicatissimi. Cum dolores propriae cu. Ad sonet officiis perpetua vel, at legimus luptatum eos, pro dictas invidunt suscipiantur te. Ut movet dicit eleifend eam, vis ei graece splendide, est nihil splendide ex. Ad minim abhorreant cum, usu ut voluptua intellegat. Et his feugait epicurei, mazim nihil cu vix, nec amet dicam volumus ut.

Kata-kata kunci: Flow Shop, Multi Objective, Penjadwalan, Ant Colony

ABSTRACT

Lorem ipsum dolor sit amet, ex quo dui discere facilis, gloriatur democritum mea ex. Eu periculis voluptatum assueverit eam, in mea oblique adipisci hendrerit, illud aliquando ne ius. Cu invidunt constituam vix, vidisse moderatius reprehendunt his cu. Movet graece ne sit.

Cu omnis homero omnium nec, eu ubique mollis vivendo eos. Et soleat mandamus scriptorem duo. Ne eos alii euripidis sententiae. Soleat quaestio sit id, eam delenit fuisset assueverit an. In mei laboramus voluptatum. Usu cu possim impetus, pri inermis consulatu et, an affert abhorreant vis.

Usu an mediocrem dissentiunt delicatissimi. Cum dolores propriae cu. Ad sonet officiis perpetua vel, at legimus luptatum eos, pro dictas invidunt suscipiantur te. Ut movet dicit eleifend eam, vis ei graece splendide, est nihil splendide ex. Ad minim abhorreant cum, usu ut voluptua intellegat. Et his feugait epicurei, mazim nihil cu vix, nec amet dicam volumus ut.

Keywords: Flow Shop, Multi Objective, Scheduling, Ant Colony

Skripsi ini dipersembahkan untuk mamah dan papah

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatnya penulis diberi kesabaran dan kekuatan untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis menyadari jika penyusunan skripsi ini tidak lepas oleh bantuan dari berbagai pihak, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Almarhum Papah yang selalu mendoakan penulis dari kejauhan sana. Terima Kasih Pah.
2. Mamah yang selalu mendukung dan mendoakan penulis sepanjang penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni yang selalu sabar dalam membimbing penulis dan memberikan masukan terhadap penulisan skripsi ini.
4. Kepada Dosen penguji yang telah memberikan masukan yang berharga untuk penulisan skripsi.
5. Staf FTIS UNPAR yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
6. Kepada teman - teman angkatan 2014 yang selalu memberikan bantuan dan semangat kepada penulis.
7. Wong kar wai, David Lynch, Martin Scorsese, Stanley Kubrick, serta para director legendaris lainnya yang selalu menemani penulis selama masa penulisan skripsi dengan karya - karyanya.

Penulis berharap bahwa penulisan skripsi ini dapat membantu bagi para pembaca yang sedang meneliti atau mempelajari topik penjadwalan flow shop. Akhir kata penulis meminta maaf jika terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Terima kasih.

Bandung, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Penjadwalan Secara Umum	5
2.1.1 Istilah-Istilah dalam Penjadwalan	5
2.1.2 Klasifikasi Masalah Penjadwalan	6
2.2 Penjadwalan Flow Shop	6
2.2.1 Definisi Secara Umum	7
2.2.2 Karakteristik Penjadwalan Flow Shop	8
2.3 Multi Objective Flow Shop Scheduling	8
2.4 Ant Colony Optimization	8
2.4.1 Algoritma Ant Colony Optimization pada penjadwalan Flow Shop	9
2.4.2 Rumus - rumus Algoritma Ant Colony dalam penjadwalan Flow Shop	12
2.5 Tailard Benchmark	14
3 ANALISA MASALAH	17
3.1 Analisa Kasus	17
3.2 Analisa Algoritma Ant Colony Pada Penjadwalan Flow Shop	18
3.2.1 Urutan Pengerjaan Proses Sebagai Jalur Semut	18
3.2.2 Memilih Urutan Pengerjaan / Jalur	18
3.2.3 Proses Pemilihan Urutan Pengerjaan / Jalur Semut	18
3.2.4 Proses Penambahan Feromon	19
3.3 Proses Optimisasi Penjadwalan Flow Shop Dengan Menggunakan Algoritma Ant Colony	19
3.3.1 Jumlah Semut	20
3.3.2 Aturan Berhenti	21
3.4 Analisis Perangkat Lunak	21
3.4.1 Use Case Diagram	22
3.4.2 Input dan Output	22

3.4.3	Flow Chart Proses Optimasi	23
3.4.4	Diagram Kelas Secara Umum	24
4	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK	27
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	29
5.1	Implementasi	29
5.1.1	Lingkungan Implementasi Perangkat Keras	29
5.1.2	Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak	29
6	KESIMPULAN DAN SARAN	31
	DAFTAR REFERENSI	33
A	KODE PROGRAM	35
B	HASIL EKSPERIMEN	37

DAFTAR GAMBAR

2.1	Job Shop	6
2.2	Flow Shop	7
2.3	Ilustrasi Flow Shop	7
2.4	Jalur Solusi Semut	8
2.5	Contoh Karakteristik Semut	10
2.6	Flowchart ACO	10
2.7	Pseudocode ACO	11
2.8	Tailard Benchmark	14
2.9	Contoh kasus Tailard Benchmark	15
3.1	Use Case Diagram	22
3.2	Input Program	23
3.3	Flowchart	24
3.4	Diagram kelas umum	25
B.1	Hasil 1	37
B.2	Hasil 2	37
B.3	Hasil 3	37
B.4	Hasil 4	37

DAFTAR TABEL

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penjadwalan produksi merupakan aktivitas yang tidak terpisahkan dalam suatu perusahaan *manufacturing*. Penjadwalan (*scheduling*) sendiri didefinisikan sebagai suatu proses pengalokasian sumber daya atau mesin-mesin yang ada untuk melaksanakan tugas-tugas yang ada dalam suatu waktu tertentu (Baker, 1974). Sedangkan yang dimaksud dengan proses produksi adalah serangkaian langkah-langkah yang digunakan untuk mentransformasikan *Input* menjadi *Output*.

Proses penjadwalan *Flow Shop* adalah salah satu metode penjadwalan produksi di mana urutan mesin yang digunakan untuk setiap proses dalam seluruh pekerjaan harus sama. Dalam penelitian - penelitian penjadwalan sebelumnya hanya difokuskan pada satu kriteria saja (*single*) namun pada penelitian kali ini akan menggunakan lebih dari satu kriteria (*multiple*). Banyak algoritma yang dapat digunakan untuk menentukan urutan pengerjaan pekerjaan dalam proses penjadwalan produksi *Flow Shop*. Salah satu algoritma yang dapat digunakan dalam proses penjadwalan produksi *Multi Objective Flow Shop* adalah algoritma *Ant Colony Optimization*. Algoritma *Ant Colony Optimization* adalah algoritma yang mengadopsi perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut. Algoritma ini menyelesaikan permasalahan berdasarkan tingkah laku semut dalam sebuah koloni yang sedang mencari sumber makanan.

Penelitian ini dibuat untuk mempelajari, mengaplikasikan, serta mengukur kinerja Algoritma *Ant Colony Optimization* pada proses penjadwalan *Multi Objective Flow Shop Scheduling* (MOFSP). Pada skripsi ini juga akan dibuat perangkat lunak yang dapat menerima n job yang masing-masing terdiri atas m buah operasi dan m buah mesin. Setiap operasi hanya ditangani oleh sebuah mesin dan setiap mesin hanya bisa menangani satu operasi. Urutan operasi dari setiap job adalah sama.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apa itu penjadwalan *Multi Objective Flowshop Scheduling* (MOFSP) ?
2. Apa itu algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) ?
3. Bagaimana cara kerja dan implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan MOFSP ?
4. Bagaimana kinerja algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan MOFSP ?

1.3 Tujuan

1. Menjelaskan penjadwalan *Multi Objective Flowshop Scheduling* (MOFSP).
2. Menjelaskan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) .

3. Menampilkan cara kerja dan implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan MOFSP .
4. Mengetahui kinerja algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan MOFSP dengan bantuan *benchmark* tertentu.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dan asumsi untuk penelitian ini adalah :

1. Waktu proses dari setiap pekerjaan telah diketahui dan bernilai tetap
2. Semua penyelesaian proses dari pekerjaan mengikuti alur proses yang sama dan sistematis
3. Pengerjaan proses dari pekerjaan-pekerjaan yang ada tidak dapat saling mendahului
4. Eksperimen dilakukan dengan sampel data kasus milik *Tailard Benchmark* flow shop dengan jumlah mesin yang beragam.
5. Pengukuran tingkat performansi dari algoritma menggunakan perbandingan nilai makespan dan nilai idle mesin dalam menjalankan suatu job.

1.5 Metodologi

Metodologi penyelesaian masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Mencari referensi dari sumber-sumber tertentu untuk memperdalam pemahaman mengenai cara kerja proses penjadwalan flow shop dan cara kerja algoritma ant colony agar kemudian dapat mengaplikasikan algoritma tersebut pada proses penjadwalan flow shop.

2. Analisa Kasus

Menentukan cara pengaplikasian algoritma ant colony untuk optimisasi penjadwalan flow shop. Menentukan data masukan dan data keluaran yang dibutuhkan oleh perangkat lunak. Menentukan fungsi-fungsi apa saja yang dibutuhkan perangkat lunak.

3. Pengembangan perangkat lunak

Membentuk struktur kelas dari perangkat lunak. Mendesain interface yang sesuai untuk perangkat lunak. Membangun perangkat lunak untuk optimisasi penjadwalan flow shop dengan algoritma ant colony. Melakukan pengujian fungsional pada perangkat lunak.

4. Eksperimen

Melakukan proses optimisasi dengan menggunakan perangkat lunak pada beberapa sampel kasus flow shop. Mencatat dan mengolah data hasil proses optimisasi untuk mengukur performa perangkat lunak. Mengukur tingkat keoptimalan dari proses optimisasi yang dilakukan oleh perangkat lunak.

5. Pengambilan kesimpulan

Mengambil kesimpulan-kesimpulan yang bisa didapatkan dari hasil eksperimen. Melakukan dokumentasi dari skripsi ini.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan karya tulis ini adalah sebagai berikut :

1. Bab 1 : Pendahuluan untuk mendefinisikan masalah yang akan dibahas, alasan pemilihan topik dan usulan solusi terhadap masalah yang ada.
2. Bab 2 : Dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Pembahasan permasalahan flow shop. Pembahasan cara kerja dari algoritma ant colony. Pembahasan cara pengaplikasian algoritma ant colony untuk optimisasi proses penjadwalan flow shop.
3. Bab 3 : Analisis masalah yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pembahasan cara penerapan algoritma ant colony dan rancangan awal dari perangkat lunak.
4. Bab 4 : Perancangan perangkat lunak. Detil informasi mengenai perangkat lunak yang telah dibuat. Struktur kelas dan desain antarmuka grafis dari perangkat lunak yang telah dibuat.
5. Bab 5 : Implementasi dan pengujian. Hasil implementasi algoritma ant colony pada perangkat lunak. Penjelasan cara penggunaan perangkat lunak. Hasil pengujian dan eksperimen kasus flow shop pada perangkat lunak
6. Bab 6 : Kesimpulan dan saran. Hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini. Saran pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Penjadwalan Secara Umum

Secara umum penjadwalan menurut Baker (1974) didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber dalam jangka waktu tertentu untuk melakukan sekumpulan pekerjaan. Definisi ini mengandung dua arti yang berbeda, yaitu :

1. Penjadwalan merupakan fungsi pengambilan keputusan, yaitu menentukan jadwal.
2. Penjadwalan merupakan suatu teori, yaitu sekumpulan prinsip-prinsip dasar, model-model, teknik-teknik, dan kesimpulan-kesimpulan logis dalam proses pengambilan keputusan yang memberikan dalam fungsi penjadwalan (nilai konseptual).

Tujuan penjadwalan secara umum menurut Baker (1974) adalah :

1. Meningkatkan produktivitas mesin, yaitu dengan mengurangi waktu menganggur mesin.
2. Mengurangi terhadap persediaan barang setengah jadi, dengan mengurangi rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian karena mesin sibuk oleh pekerjaan lain.
3. Mengurangi keterlambatan (tardiness). Dalam banyak hal, beberapa atau semua pekerjaan mempunyai batas waktu penyelesaian (duedate). Apabila suatu pekerjaan melewati batas waktu tersebut, maka akan dikenai pinalti. Keterlambatan dapat diperkecil dengan mengurangi maksimal tardiness atau mengurangi pekerjaan yang terlambat (number of tardy job).

Menurut Baker [1] masalah penjadwalan muncul karena keterbatasan :

- Waktu
- Tenaga Kerja
- Jumlah Mesin
- Sifat dan syarat pekerja.

2.1.1 Istilah-Istilah dalam Penjadwalan

Bedworth [2] menyebutkan beberapa istilah dalam penjadwalan yang perlu dijelaskan adalah sebagai berikut:

- Waktu Pemrosesan (*Processing Time*)
Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu aktivitas pekerjaan.
- Makespan
Keseluruhan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas pekerjaan.

- Waktu Aliran (Flow Time)
Rentang waktu antara satu pekerjaan dapat dimulai sampai saat dimana pekerjaan tersebut selesai dikerjakan. Sehingga waktu aliran sama dengan waktu pemrosesan ditambah dengan waktu menunggu sebelum diproses.
- Waktu Penyelesaian (Completion Time)
Waktu dimana tugas terakhir dari satu pekerjaan tertentu selesai dikerjakan.
- Batas Waktu (Due Time)
Batas waktu penyelesaian untuk suatu pekerjaan (order) dan jika suatu pekerjaan (order) melewati batas waktu tersebut akan dikenakan denda (penalty)
- Tardiness
Merupakan keterlambatan penyelesaian suatu job terhadap batas waktu penyelesaian (due time) job tersebut.

2.1.2 Klasifikasi Masalah Penjadwalan

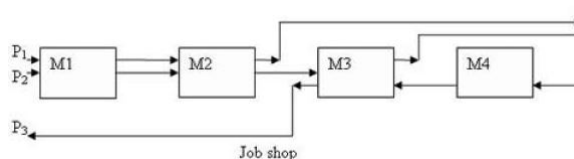
Permasalahan penjadwalan dapat dilihat dari :

1. Mesin :
 - Mesin Tunggal
 - Mesin ganda (2 mesin)
 - M mesin
2. Aliran proses
 - *Job Shop*
 - *Flow Shop*
3. Pola Kedatangan
 - Statis
 - Dinamis

2.2 Penjadwalan Flow Shop

Seperti yang telah disebutkan di atas. Penjadwalan berdasarkan aliran proses terdiri atas dua penjadwalan yaitu :

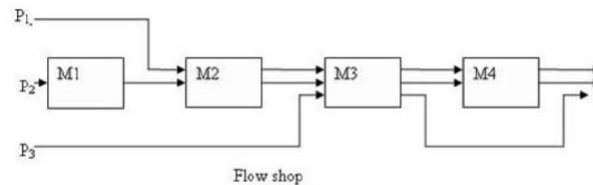
1. *Job Shop*
Setiap proses pekerjaan yang dikerjakan tidak memiliki lintasan operasi yang tetap, artinya setiap job yang datang memiliki proses operasi yang berbeda dan dapat mengalami pengulangan lintasan. Gambar 2.1 merupakan gambaran dari pola kerja job shop. Pada gambar tersebut dijelaskan bahwa P1 akan jalan melalui mesin 1 ke mesin 2. Lalu pada P3 di jelaskan job dimulai dari mesin ke 4 lalu ke mesin 3, maka dapat disimpulkan setiap job memiliki proses operasi yang berbeda.



Gambar 2.1: Job Shop

2. Flow shop

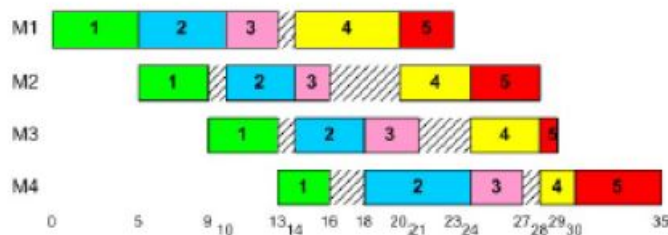
Setiap pekerjaan yang akan diproses memiliki lintasan produksi yang searah, dan setiap operasi yang dilalui oleh setiap job memiliki urutan proses yang sama tanpa mengalami pengulangan lintasan (semua job hanya diproses sekali pada tiap mesin). Gambar 2.2 merupakan gambaran dari pola kerja flow shop.



Gambar 2.2: Flow Shop

2.2.1 Definisi Secara Umum

Permasalahan flow shop scheduling adalah bagaimana menentukan urutan pengerjaan untuk sejumlah n job dengan menggunakan sejumlah m mesin dalam urutan proses yang sama dan setiap job melewati setiap mesin dalam satu waktu tertentu. Masing-masing job memiliki lama pengerjaan yang berbeda. Dalam pemrosesan, setiap job membutuhkan sebanyak m operasi (setiap mesin satu operasi). Setiap job tidak dapat saling mendahului dan setiap mesin tidak akan diam saat job siap diproses. Tujuan utama dari flow shop scheduling adalah menentukan makespan minimum untuk mengerjakan n job dengan menggunakan m mesin. Nilai makespan dapat berubah-ubah berdasarkan urutan pengerjaan job yang dilakukan, oleh karena itu urutan pengerjaan akan sangat berpengaruh terhadap nilai makespan. Pada skripsi ini juga akan ditambahkan satu *objective* lainnya dalam mengukur performa algoritma *ant colony* terhadap permasalahan flow shop. Objective tersebut adalah meminimasi terjadinya tardiness dalam suatu penyelesaian job. Ilustrasi dari Flow Shop Scheduling dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3: Ilustrasi Flow Shop

Gambar 2.3 merupakan ilustrasi proses flowshop scheduling. Pada gambar tersebut urutan pengerjaan job adalah 1,2,3,4, dan 5. Masing-masing job memiliki 4 proses operasi dan masing-masing proses operasi tersebut dikerjakan oleh mesin yang berbeda. Saat proses operasi 1 dari job 1 telah selesai, mesin 2 akan mengerjakan proses operasi 2 dari job 1, dan mesin 1 akan mengerjakan proses operasi 1 dari job 2. Saat proses operasi 2 dari job 1 sudah selesai, mesin 2 akan mengerjakan proses operasi 3 dari job 1, akan tetapi mesin 2 yang seharusnya mengerjakan proses operasi 2 dari job 2 akan mengalami idle, karena proses operasi 1 dari job 2 belum selesai dikerjakan di mesin 1.

Idle adalah kondisi dimana mesin tidak melakukan proses operasi apapun, baik itu karena adanya proses operasi yang akan dilakukan pada mesin tersebut belum selesai diproses di mesin selanjutnya atau karena masih ada proses operasi yang dilakukan pada mesin selanjutnya. Idle

akan mempengaruhi besar kecilnya nilai makespan yang akan dihasilkan. Semakin banyak idle, maka makespan umumnya akan semakin besar, serta sebaliknya dimana semakin sedikit idle maka umumnya makespan yang didapat akan semakin kecil. Mesin juga mengalami idle pada saat mesin 1 telah menyelesaikan proses operasi job 3 namun ternyata pada mesin 2 proses job 2 belum selesai. Sehingga job 3 akan disimpan dalam mesin 1 hingga mesin 2 selesai mengerjakan proses operasi job 2.

2.2.2 Karakteristik Penjadwalan Flow Shop

1. Terdapat n job yang tersedia dan siap diproses pada waktu $t = 0$.
2. Waktu proses tiap job tidak bergantung pada urutan pengerjaan.
3. Terdapat m mesin berbeda, yang tersedia secara kontinu.
4. Operasi-operasi individual job pada tiap mesin tidak dapat dipecah-pecah.

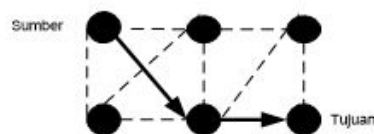
2.3 Multi Objective Flow Shop Scheduling

Pada dasarnya MOFSP adalah bagian dari *flow shop* itu sendiri. MOFSP menjelaskan kriteria optimasi yang akan diselesaikan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*. Kriteria tersebut bersifat jamak *Multi Objective*. Kriteria tersebut misalnya saja minimasi waktu proses keseluruhan, minimasi waktu tunggu job, minimasi waktu nganggur mesin, dan sebagainya. Kriteria optimasi yang akan diselesaikan pada skripsi ini adalah menentukan makespan minimum dan minimasi waktu *idle* atau *tardiness*.

2.4 Ant Colony Optimization

Any Colony Optimization (ACO) awalnya dikembangkan oleh Marco Dorigo et. al. (1996). Algoritma ini didasarkan pada cara kerja semut untuk menentukan jarak terpendek dari sarang menuju sumber makanan. Semut dapat menemukan jarak terpendek dengan memanfaatkan jejak pheromone (air liur semut) yang dimanfaatkan sebagai komunikasi tidak langsung antar semut. Ketika semut berjalan, ia meninggalkan pheromone dalam jumlah tertentu pada jalur yang dilewatinya. Semut dapat mencium pheromone dan ketika memilih jalur mereka cenderung untuk memilih jalur dengan konsentrasi pheromone yang lebih besar adalah jarak terpendek.

Saat seekor semut yang terisolasi bergerak secara acak, semut ini akan mengikuti jejak yang telah ditinggalkan sebelumnya yang dapat dideteksi dan mempunyai tingkat probabilitas yang tinggi untuk diikuti dan melanjutkan jejak sebelumnya dengan pheromone baru. Tingkah laku kolektif yang muncul disebut dengan tingkah laku Autocalystic, dimana semut yang lain dapat mengikuti jejak yang ada dan jejak yang semakin jelas akan memudahkan bagi semut yang lain untuk mengikutinya. Proses ini secara khusus terjadi melalui kumpulan umpan balik yang positif, dimana kemungkinan semut untuk memilih pola meningkat seiring dengan jumlah semut yang sebelumnya mengikuti pola yang sama.



Gambar 2.4: Jalur Solusi Semut Ant Colony Optimization

Marco Dorigo et. al. (1996) mengatakan bahwa Ant Colony Optimization adalah algoritma heuristik yang serba guna untuk memecahkan berbagai masalah optimasi. Algoritma ACO memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Serba guna (versatile), dapat dipakai untuk memecahkan masalah dengan versi yang sama, seperti TSP dan Asymetric Travelling Salesman Problem (ATSP).
2. Sempurna (robust), dapat diterapkan untuk memecahkan dengan hanya perubahan sedikit terhadap masalah optimasi yang lain, seperti Quadratic Assignment Problem dan Job shop Scheduling Problem (JSP).
3. Pendekatan yang berbasis populasi.

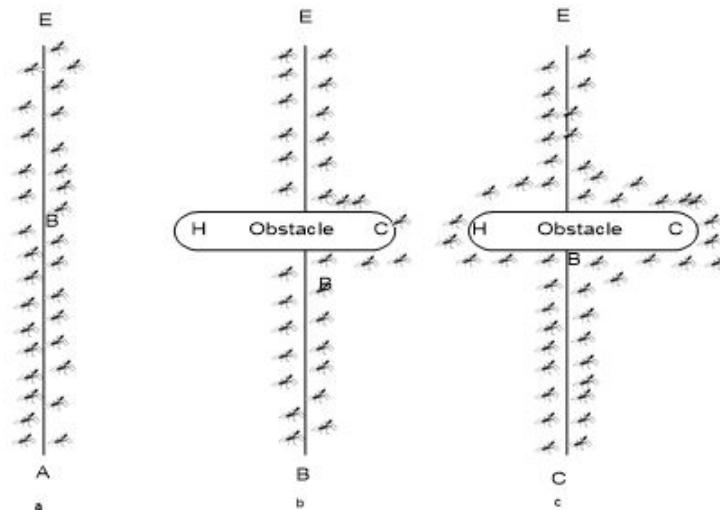
2.4.1 Algoritma Ant Colony Optimization pada penjadwalan Flow Shop

- Karakteristik Semut

Sesuai dengan contoh pada gambar 2.5 terdapat pola saat sekelompok semut berjalan (contoh, dari sumber makanan A ke sarang E, dan sebaliknya). Secara tiba-tiba rintangan muncul dan pola menjadi terpotong. Pada posisi B, semut berjalan dari A ke E (atau pada posisi D yang bergerak dengan arah yang berlawanan) harus memutuskan apakah harus bergerak ke kiri atau ke kanan. Pilihan ini dipengaruhi oleh intensitas jejak pheromone yang ditinggalkan oleh semut sebelumnya. Tingkat pheromone yang lebih tinggi pada pola sebelah kanan memberikan semut rangsangan yang lebih kuat dan kemungkinan yang lebih tinggi untuk berbelok ke kanan. Semut pertama mencapai titik B atau D mempunyai kemungkinan yang sama untuk belok ke kiri atau ke kanan (karena tidak terdapat pheromone pada dua pola alternatif tersebut).

Karena pola BCD lebih pendek dibandingkan dengan pola BHD, semut pertama yang mengikuti ini akan mencapai D sebelum semut yang mengikuti pola BHD. Hasilnya adalah semut yang bergerak dari E ke D akan mendapatkan jejak yang lebih jelas pada pola DCB, karena setengah dari semut tersebut yang memilih untuk mendekati rintangan melalui DCBA dan dengan segera akan sampai melalui BCD, mereka akan melalui pola memilih pola DCB dibandingkan pola DHB.

Sebagai Konsekuensi, jumlah semut yang mengikuti pola BCD per unit waktu akan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah semut yang mengikuti pola BHD. Hal ini menyebabkan jumlah pheromone pada pola yang lebih pendek akan muncul lebih cepat dibandingkan dengan pola yang lebih jauh, dan oleh karena itu kemungkinan semut yang memilih pola yang diikuti mempunyai bias terhadap pola yang lebih pendek. Hasil akhir yang akan dipilih secara cepat akan ditunjukkan pada pola yang lebih pendek. Algoritma yang akan dibahas pada bagian selanjutnya adalah model yang berasal dari kumpulan kehidupan nyata semut. Selanjutnya hal ini disebut dengan Sistem Semut dan algoritma yang akan dibahas dikenal dengan algoritma semut. Karakteristik semut asli untuk ketika sedang bergerak dari satu titik ke titik tujuan dapat dilihat pada kedua ilustrasi gambar berikut ini.

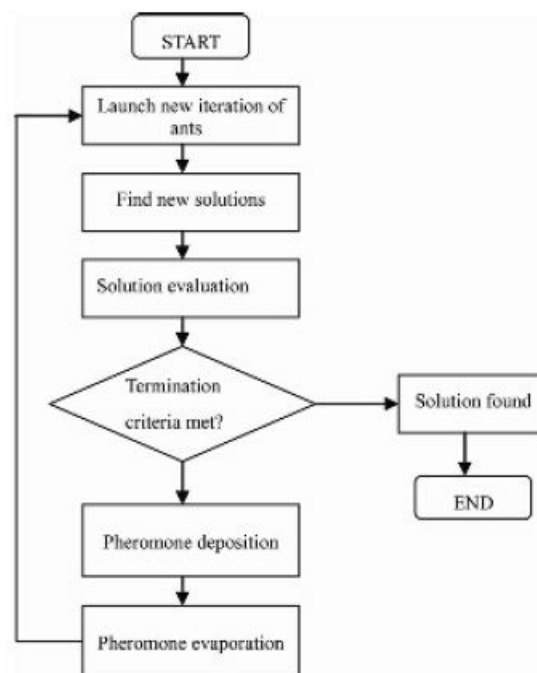


Gambar 2.5: Karakteristik semut

Penjelasan karakteristik semut :

1. Semut-semut mengikuti jalur dari titik A ke titik E.
2. Sebagai rintangan maka diletakkan hambatan pada jalur lintasan ; semut-semut memilih untuk bergerak memutar salah satu sisi dengan probabilitas yang sama.
3. Di jalur yang lebih pendek ditinggalkan lebih banyak pheromone.

- Cara Kerja Algoritma Berikut adalah flow chart dari algoritma ant colony.



Gambar 2.6: Flowchart algoritma ant colony optimization

Berdasarkan flowchart 2.6, dalam menjalankan proses pelatihan dengan algoritma ant colony maka perlu dipersiapkan jalur-jalur yang ada perlu. Jalur-jalur tersebut merupakan kemungkinan solusi-solusi yang mungkin dipilih oleh semut. Kemungkinan dipilihnya suatu jalur akan ditentukan berdasarkan nilai feromon, oleh karena itu perlu dibentuk pula tempat penyimpanan feromon untuk setiap jalur yang mungkin dilalui.

Pada awalnya, algoritma ant colony akan membentuk sekumpulan semut, semut-semut tersebut akan disebar secara acak pada jalur-jalur yang ada. Proses penyebaran semut tersebut akan memperhatikan nilai feromon dari masing-masing jalur. Semakin besar nilai feromon dari suatu jalur, maka semakin besar pula kemungkinan dipilihnya jalur tersebut untuk dilalui semut. Jalur-jalur yang dipilih oleh semut akan disimpan dan dibandingkan dengan jalur-jalur yang telah dipilih oleh semut-semut lainnya.

Dari jalur-jalur yang telah dipilih akan dibentuk nilai feromonnya berdasarkan tingkat keoptimalan dari jalur tersebut. Nilai feromon-feromon tersebut akan ditambahkan pada jalur-jalur yang bersangkutan untuk memperbesar kemungkinan dipilihnya jalur tersebut sesuai dengan tingkat keoptimalannya. Semakin optimal suatu jalur, semakin besar pula jumlah feromon yang akan ditambahkan pada suatu jalur. Tidak lupa pula, proses evaporasi feromon akan dilakukan. Proses evaporasi feromon ini akan mengurangi jumlah feromon yang disimpan. Proses evaporasi ini bertujuan untuk mengurangi jumlah feromon dari jalur-jalur yang dianggap kurang optimal. Proses-proses tersebut akan terus dilakukan hingga suatu kondisi berhenti ditemui.

```

1 | membentukDataFeromon()
2 | solusiTerbaik = null
3 | while(kondisi berhenti belum ditemui)
4 |     koloniSemut = bentuk kumpulan semut kosong
5 |     for(1 sampai jumlah semut yang akan disebar)
6 |         solusiLokal = pilihSolusiSecaraAcakBerdasarkanNilaiFeromon()
7 |         If(solusiLokal solusi yang valid)
8 |             (opsional) localSearch(solusiLokal)
9 |             if(hasil(solusiLokal) lebih baik dari hasil(solusiTerbaik))
10 |                 simpan solusiLokal pada solusiTerbaik
11 |             end if
12 |             simpan solusiLokal pada koloniSemut
13 |         end if
14 |     end for
15 |     updateNilaiFeromon(koloniSemut)
16 | end while
17 | output : solusiTerbaik

```

Gambar 2.7: Pseudocode algoritma ant colony optimization

Dari flow chart 2.6, dibentuklah pseudocode di atas. Baris pertama dari pseudocode tersebut merupakan proses pembentukan data feromon. Proses pembentukan data feromon tersebut akan memperhatikan kasus yang ingin dicari hasil optimalnya. Nilai masing-masing jalur dan cara mengartikan nilai feromon tersebut diatur berdasarkan kasus yang ingin dicari hasil optimalnya. Jumlah feromon pada masing-masing jalur pada awalnya bernilai sama. Setelah data feromon selesai dibuat, proses pelatihan dengan menggunakan algoritma ant colony dimulai. Baris ketiga pada pseudocode menunjukkan kondisi berhenti untuk proses optimisasi dari algoritma ant colony.

Seluruh potongan kode di dalam kondisi while tersebut merupakan satu fase pelatihan dari algoritma ant colony. Fase pelatihan tersebut terdiri dari proses pembentukan jalur, penentuan solusi optimal, dan perubahan nilai feromon (penambahan dan evaporasi feromon). Fase pelatihan dari algoritma ant colony bertujuan untuk membentuk data feromon yang mampu

menghasilkan solusi yang paling optimal. Pada setiap fase pelatihan ini akan dibentuk sejumlah semut yang bertugas untuk menyimpan solusi acak/solusi lokal yang telah dipilih pada suatu fase pelatihan. Semut-semut ini akan dianggap memilih sebuah jalur/solusi secara acak berdasarkan nilai yang disimpan pada data feromon. Jika solusi acak tersebut lebih baik dari solusi optimal yang diketahui pada saat ini, maka solusi acak tersebut akan dianggap sebagai solusi optimal yang baru.

Pada saat pemilihan solusi secara acak, perlu dipastikan bahwa solusi tersebut merupakan solusi yang valid dari suatu kasus. Pada saat pemilihan solusi kita juga dapat melakukan proses local search. Proses ini bertugas untuk membandingkan solusi yang dibentuk dengan solusi yang mirip. Jika solusi lain tersebut lebih baik, maka solusi yang dipilih akan diganti menjadi solusi yang mirip tersebut. Proses ini bersifat opsional, karena tidak semua permasalahan dapat diaplikasikan dengan proses ini.

Setelah semut-semut telah selesai memilih solusi secara acak, proses perubahan nilai feromon akan dilakukan. Proses perubahan tersebut mencakup proses penambahan dan evaporasi nilai feromon. Proses penambahan nilai feromon akan memperhatikan tingkat keoptimalan dari solusi yang dipilih suatu semut. Semakin optimal suatu solusi, semakin banyak pula nilai feromon yang ditambahkan pada jalur/solusi tersebut. Setelah proses optimisasi selesai, solusi yang paling optimal akan diberikan sebagai data keluaran.

2.4.2 Rumus - rumus Algoritma Ant Colony dalam penjadwalan Flow Shop

1. Pemilihan Jalur

Kemungkinan dipilihnya sebuah jalur dipengaruhi oleh kekuatan feromon pada jalur tersebut. Semakin kuat / banyak feromon pada suatu jalur, maka jalur tersebut akan lebih sering / berkemungkinan lebih besar untuk dipilih. Kemungkinan terpilihnya masing-masing jalur dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada rumus berikut :

$$P_k^{xy} = \frac{T_{xy}^{\alpha} \cdot n_{xy}^{\beta}}{\sum_{x \in available_z} (T_{xz}^{\alpha} \cdot n_{xz}^{\beta})} \quad (2.1)$$

Keterangan dari rumus tersebut sebagai berikut :

P_k^{xy} : nilai kemungkinan terpilihnya jalur xy oleh semut k

T_{xy} : nilai feromon untuk jalur xy

n_{xy} : nilai objektif untuk jalur xy

α : persentase pengaruh nilai feromon

β : persentase pengaruh nilai objektif

T menunjukkan kekuatan / jumlah feromon yang terdapat pada suatu jalur, sedangkan n menunjukkan nilai objektif yang dimiliki oleh suatu jalur. Nilai objektif pada suatu jalur menunjukkan pengetahuan / nilai awal mengenai jalur tersebut. Nilai awal tersebut biasanya berupa informasi mengenai jalur tersebut yang diketahui sejak awal dan mampu memberikan pengaruh pada proses pemilihan jalur.

Contoh informasi yang dapat menjadi nilai objektif adalah panjang jalur, banyaknya belokan, panjang jalur pertama, dan lain-lain. Nilai awal suatu jalur dapat bernilai sama dengan jalur yang lain. Apabila proses pencarian yang dilakukan tidak memiliki informasi apapun atau bersifat blind- search, nilai objektif ini dapat diabaikan. Besar pengaruh dari kekuatan feromon dan nilai objektif terhadap kemungkinan terpilihnya sebuah jalur dapat diatur dengan menggunakan rasio tertentu.

2. Update Nilai Feromon

Ketika terdapat semut yang menyelesaikan sebuah jalur, feromon pada jalur tersebut akan diubah. Jumlah feromon pada jalur yang dilewati semut tersebut akan ditambah. Dalam proses penambahan feromon, nilai feromon yang baru pada jalur ditentukan dengan rumus berikut:

$$T_{xy} \leftarrow (1 - P) \cdot T_{xy} + \sum_k \Delta T_{xy}^k \quad (2.2)$$

Keterangan dari rumus tersebut sebagai berikut :

P : persentase evaporasi feromon (dalam desimal)

T_{xy} : nilai feromon untuk jalur xy

ΔT_{xy}^k : nilai feromon yang akan ditambahkan oleh semut k pada jalur xy

Pada rumus tersebut, jumlah feromon awal yang terdapat pada suatu jalur akan mengalami pengurangan berdasarkan rasio penguapan feromon P , lalu kemudian akan ditambah dengan nilai feromon masing-masing semut yang melewati jalur tersebut. Nilai feromon masing-masing semut dapat berupa sebuah nilai tetap atau nilai lainnya yang mampu memberikan nilai lebih pada jalur yang lebih cepat (lama proses, jumlah semut yang telah melewati suatu jalur, dan lain-lain). Aturan mengenai kapan dan bagaimana suatu proses penambahan feromon dilakukan dapat bervariasi. Aturan-aturan tersebut biasanya ditentukan berdasarkan jenis permasalahan yang ingin dioptimisasi. Proses penambahan feromon dapat dilakukan ketika terdapat semut yang telah selesai berjalan pada jalurnya atau pada saat seluruh semut telah selesai berjalan pada jalurnya.

Proses perubahan jumlah feromon dapat dilakukan dengan menambahkan sebuah nilai atau menambahkan nilai feromon dengan suatu persentase tertentu. Proses perubahan jumlah feromon dapat dilakukan di seluruh jalur atau hanya di jalur yang dilewati suatu semut. Jika perubahan dilakukan di seluruh jalur, fungsi / aturan khusus untuk perubahan jumlah feromon sebagai berikut.

$$\Delta T_{xy}^k = \{ Q, \text{jika semut } k \text{ menggunakan jalur } xy, 0, \text{ untuk lainnya.} \} \quad (2.3)$$

Keterangan aturan khusus di atas sebagai berikut :

ΔT_{xy}^k : nilai feromon yang akan ditambahkan oleh semut k pada jalur xy

Q : nilai penambahan feromon (dapat berupa suatu angka tetap / hasil perhitungan)

3. Kondisi berhenti

Selama proses optimisasi, algoritma ant colony akan secara terus menerus melakukan fase pelatihan. Pada setiap fase pelatihan akan dibentuk semut-semut yang akan memilih suatu jalur secara acak berdasarkan nilai feromon. Setelah suatu fase pelatihan selesai, perubahan nilai feromon akan dilakukan berdasarkan jalur-jalur yang dipilih oleh masing-masing semut.

Proses optimisasi akan diberhentikan jika suatu kondisi telah terpenuhi. Waktu berhentinya suatu proses pelatihan dapat ditentukan dengan berbagai parameter. Proses pelatihan dapat dianggap selesai jika telah melewati beberapa fase pelatihan, jumlah semut yang disebar sudah cukup banyak, atau jika sudah terdapat jalur yang dipilih oleh sebagian besar semut. Proses pelatihan juga dapat diberhentikan jika fase-fase pelatihan terakhir selalu memberikan hasil solusi yang sama / tidak mampu membentuk solusi lain yang lebih optimal.

2.5 Tailard Benchmark

Dalam melakukan pengujian tingkat keoptimalan dari suatu algoritma, pengujian sebaiknya dilakukan dengan menggunakan data kasus standar. Data kasus standar tersebut akan dianggap sebagai suatu kasus unik yang memerlukan algoritma khusus untuk proses optimisasinya. Data standar tersebut akan digunakan sebagai pembanding dalam proses optimisasi. Dengan menggunakan data standar, penilaian kualitas dari suatu algoritma optimisasi dapat dilakukan. Dalam kasus penelitian ini, data kasus standar tersebut akan menggunakan data dari suatu benchmark yang bernama *Taillard Benchmark*. *Benchmark* tersebut dapat diakses lewat url berikut : ¹ .

Taillard benchmark adalah sebuah web hosting yang menyediakan kumpulan data yang digunakan sebagai input dan akan menghasilkan output suatu permasalahan flow shop scheduling. Input dan output tersebut digunakan sebagai standar dalam pengujian algoritma penyelesaian flow shop scheduling sesuai dengan yang didefinisikan oleh Taillard [9]. Hal ini akan mempengaruhi penilaian suatu algoritma dalam menyelesaikan permasalahan flow shop scheduling apakah algoritma tersebut sudah efektif atau tidak.

Dalam data input yang digunakan pada permasalahan flow shop scheduling, selain banyaknya job dan mesin, ada pula initial seed yang dapat digunakan menggunakan random generator. Initial Seed ini berfungsi dalam membuat variasi waktu proses dari tiap job yang ada, sehingga kumpulan job yang ada akan memiliki waktu proses yang berbeda pada tiap prosesnya. Seperti yang telah diketahui sebelumnya, tujuan utama dari pencarian solusi permasalahan flow shop scheduling adalah pencarian waktu makespan yang paling kecil. Taillard benchmark Framework ini akan menyediakan data output yang berupa upper bound dan lower bound solusi permasalahan flow shop scheduling. Lower bound menunjukkan batas makespan paling minimum sedangkan Upper bound menunjukkan batas makespan paling maksimum. Selain itu, Taillard benchmark juga akan memberikan data-data detail dari proses-proses yang dilakukan. Tampilan dari Tailard benchmark sebagai berikut :

Scheduling instances

Published in E. Taillard, "Benchmarks for basic scheduling problems", *EJOR* 64(2):278-285, 1993. [Technical report](#)

- Flow shop sequencing
 - [Summary of best known lower and upper bounds of Taillard's instances](#)
 - [Taillard, 20 jobs 5 machines](#)
 - [Taillard, 20 jobs 10 machines](#)
 - [Taillard, 20 jobs 20 machines](#)
 - [Taillard, 50 jobs 5 machines](#)
 - [Taillard, 50 jobs 10 machines](#)
 - [Taillard, 50 jobs 20 machines](#)
 - [Taillard, 100 jobs 5 machines](#)
 - [Taillard, 100 jobs 10 machines](#)
 - [Taillard, 100 jobs 20 machines](#)
 - [Taillard, 200 jobs 10 machines](#)
 - [Taillard, 200 jobs 20 machines](#)
 - [Taillard, 500 jobs 20 machines](#)

Gambar 2.8: Tailard Benchmark

Gambar 2.8 memperlihatkan tampilan menu Taillard benchmark yang dimana kita dapat memilih kasus-kasus flow shop scheduling yang hendak digunakan. Pada setiap kasusnya, telah disediakan data-data input berupa jumlah job dan jumlah mesin dan initial seed. Selain itu diberikan pula upper bound dan lower bound dari kasus tersebut untuk menjadi tolak ukur algoritma yang telah kita buat apakah dapat memenuhi standar dari Taillard Benchmark. Taillard membagi jenis kasus-kasus flow shop scheduling berdasarkan jumlah job dan jumlah mesin. Pada tiap jenis kasus Taillard menyediakan 10 (sepuluh) kasus yang dapat dicoba.

¹<http://mistic.heig-vd.ch/taillard/problemes.dir/ordonnancement.dir/ordonnancement.html>

```

number of jobs, number of machines, initial seed, upper bound and lower bound :
      20           5  873654221      1278      1232
processing times :
54 83 15 71 77 36 53 38 27 87 76 91 14 29 12 77 32 87 68 94
79  3 11 99 56 70 99 60  5 56  3 61 73 75 47 14 21 86  5 77
16 89 49 15 89 45 60 23 57 64  7  1 63 41 63 47 26 75 77 40
66 58 31 68 78 91 13 59 49 85 85  9 39 41 56 40 54 77 51 31
58 56 20 85 53 35 53 41 69 13 86 72  8 49 47 87 58 18 68 28
number of jobs, number of machines, initial seed, upper bound and lower bound :
      20           5  379008056      1359      1290
processing times :
26 38 27 88 95 55 54 63 23 45 86 43 43 40 37 54 35 59 43 50
59 62 44 10 23 64 47 68 54  9 30 31 92  7 14 95 76 82 91 37
78 90 64 49 47 20 61 93 36 47 70 54 87 13 40 34 55 13 11  5
88 54 47 83 84  9 30 11 92 63 62 75 48 23 85 23  4 31 13 98
69 30 61 35 53 98 94 33 77 31 54 71 78  9 79 51 76 56 80 72
number of jobs, number of machines, initial seed, upper bound and lower bound :
      20           5  1866992158      1081      1073
processing times :
77 94  9 57 29 79 55 73 65 86 25 39 76 24 38  5 91 29 22 27
39 31 46 18 93 58 85 58 97 10 79 93  2 87 17 18 10 50  8 26
14 21 15 10 85 46 42 18 36  2 44 89  6  3  1 43 81 57 76 59
11  2 36 30 89 10 88 22 31  9 43 91 26  3 75 99 63 83 70 84
83 13 84 46 20 33 74 42 33 71 32 48 42 99  7 54  8 73 30 75
number of jobs, number of machines, initial seed, upper bound and lower bound :
      20           5  216771124      1293      1268

```

Gambar 2.9: Contoh kasus Tailard Benchmark

Gambar 2.9 memperlihatkan tampilan salah satu kasus pada flow shop scheduling dengan 20 jobs dan 5 mesin. Pada gambar tersebut kita dapat melihat data waktu proses tiap job pada tiap mesin. Waktu proses ini didapatkan seluruhnya berdasarkan initial seed yang digunakan. Berdasarkan data tersebut, algoritma yang telah dibuat sebelumnya dapat dinilai apakah telah efektif atau belum sesuai dengan upper bound dan lower bound yang diberikan.

BAB 3

ANALISA MASALAH

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil analisa permasalahan flow shop dan segala hal yang berkaitan dengan analisa permasalahan tersebut. Pada bab ini juga akan dibahas sekilas mengenai rancangan awal dari perangkat lunak yang memungkinkan diaplikasikannya algoritma ant colony pada permasalahan multi objective flow shop.

3.1 Analisa Kasus

Proses penjadwalan Flow Shop adalah salah satu metode penjadwalan produksi di mana urutan mesin yang digunakan untuk setiap proses dalam seluruh pekerjaan harus sama. Pekerjaan-pekerjaan tersebut akan dikerjakan pada mesin-mesin yang ada dengan urutan pengerjaan yang dipilih. Masing-masing proses akan dikerjakan secara sistematis dan terurut. Data-data masukan yang dibutuhkan dalam menjalankan sebuah proses penjadwalan flow shop adalah:

- Banyaknya pekerjaan
- Banyaknya mesin
- Detail waktu pengerjaan setiap pekerjaan

Setiap pekerjaan memiliki waktu proses yang berbeda satu sama lain pada tiap mesin. Variasi urutan pengerjaan yang berbeda biasanya akan menghasilkan waktu pengerjaan / makespan yang berbeda pula. Proses penjadwalan ini penting untuk diperhatikan, karena mampu mempengaruhi lama waktu penggunaan fasilitas dalam suatu proses produksi. Urutan pengerjaan yang baik dapat dicari dengan menggunakan suatu algoritma optimisasi. Diharapkan dengan algoritma optimisasi tersebut, urutan pengerjaan yang menghasilkan makespan / waktu pengerjaan minimum dapat ditemukan.

Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk optimisasi penjadwalan flow shop adalah algoritma ant colony. Tingkat keoptimalan setiap algoritma berbeda-beda, oleh karena itu perlu dibuat sebuah perangkat lunak untuk optimisasi penjadwalan flow shop dengan menggunakan algoritma ant colony. Algoritma ant colony akan menerima data masukan dari suatu kasus flow shop, kemudian akan mencari urutan pengerjaan / solusi yang paling optimal dari kasus tersebut selain itu kita juga dapat mencari kriteria lain yang kita inginkan.

Algoritma ant colony akan mencari urutan pengerjaan yang menghasilkan makespan / waktu pengerjaan yang paling minimum. Algoritma ant colony merepresentasikan pilihan solusi-solusi yang ada sebagai jalur yang akan dilalui oleh semut dan memberikan data feromon sebagai panduan untuk melewati jalur-jalur tersebut. Dengan panduan tersebut, semut-semut tersebut diasumsikan mampu memilih jalur yang paling optimal. Proses optimisasi dengan menggunakan algoritma ant colony perlu memperhatikan beberapa hal.

Algoritma ant colony perlu mengetahui bagaimana cara merepresentasikan suatu solusi sebagai jalur, bagaimana cara menggunakan panduan feromon untuk pemilihan jalur, bagaimana cara membaca dan menyimpan suatu data feromon, serta banyak hal lainnya. Tata cara tersebut mampu mempengaruhi hasil optimisasi dari algoritma ant colony.

3.2 Analisa Algoritma Ant Colony Pada Penjadwalan Flow Shop

3.2.1 Urutan Pengerjaan Proses Sebagai Jalur Semut

Algoritma ant colony akan membantu penentuan urutan pengambilan pekerjaan yang optimal. Oleh karena itu, algoritma ini akan merepresentasikan pilihan urutan pengambilan yang ada sebagai jalur. Jalur-jalur tersebut kemudian akan dilewati oleh semut-semut yang akan mencari solusi / urutan pengerjaan yang optimal. Pilihan urutan pengerjaan yang ada dapat dicari dengan menggunakan fungsi permutasi terhadap jumlah pekerjaan.

Sebagai contoh, jika dimisalkan terdapat 3 buah pekerjaan, maka dengan fungsi permutasi akan didapatkan jalur-jalur urutan pengerjaan (1,2,3), (1,3,2), (2,1,3), (2,3,1), (3,1,2), dan (3,2,1). Fungsi permutasi ini digunakan dengan mempertimbangkan sifat dari proses penjadwalan flow shop. Masing-masing proses dari pekerjaan pasti akan dikerjakan dan hanya akan dikerjakan sebanyak satu kali.

3.2.2 Memilih Urutan Pengerjaan / Jalur

Makespan yang dihasilkan oleh masing-masing urutan pengerjaan biasanya akan bernilai berbeda. Penentuan urutan pengerjaan yang optimal akan ditentukan oleh nilai feromon yang akan diberikan oleh semut-semut yang telah disebar. Nilai feromon tersebut dapat disimpan dengan cara yang beragam.

Dalam kasus flow shop juga terdapat beragam cara dalam menyimpan feromon dan penentuan urutan yang lebih optimal. Salah satunya adalah dengan menyimpan nilai feromon sebagai panduan pemilihan pekerjaan selanjutnya. Nilai feromon akan menyimpan kecenderungan dipilihnya suatu pekerjaan setelah dipilihnya suatu pekerjaan yang lain. Nilai feromon tersebut akan disimpan dalam bentuk matriks 2 dimensi.

Indeks pertama dari matriks akan merepresentasikan nomor pekerjaan yang sebelumnya dipilih. Indeks kedua akan merepresentasikan pekerjaan yang selanjutnya akan dipilih. Sebagai contoh, pada matriks indeks [1][2] menunjukkan kecenderungan dipilihnya pekerjaan 2 setelah dipilihnya pekerjaan 1. Nilai feromon pada matriks dengan 2 indeks yang sama akan selalu bernilai 0.

Perlu diingat pula bahwa algoritma ant colony akan selalu memberikan peluang dipilihnya sebuah solusi. Meskipun solusi tersebut sudah dapat dianggap sebagai solusi yang kurang optimal, solusi tersebut harus tetap memiliki kemungkinan untuk dipilih. Oleh karena itu, indeks nilai feromon harus tetap dapat mengacu pada terpilihnya suatu solusi-solusi yang ada. Nilai feromon masing-masing indeks matriks (kecuali matriks dengan dua indeks yang sama) tidak akan lebih kecil dari 1. Hal ini dilakukan agar setiap solusi masih memiliki kemungkinan untuk dipilih, meskipun kemungkinannya sangat kecil.

3.2.3 Proses Pemilihan Urutan Pengerjaan / Jalur Semut

Pada proses pemilihan jalur, nilai feromon yang disimpan oleh suatu indeks matriks mempengaruhi kemungkinan dipilihnya suatu pekerjaan. Semakin besar nilai feromon pada suatu indeks, semakin besar kemungkinan dipilihnya pekerjaan yang dirujuk oleh indeks matriks tersebut. Berdasarkan rumus untuk pemilihan jalur pada algoritma ant colony, diperlukan nilai objektif dan nilai feromon untuk penentuan pemilihan suatu jalur. Pada proses pemilihan pekerjaan ini, nilai objektif yang digunakan adalah 1 untuk semua indeks matriks. Proses pemilihan pekerjaan ini hanya akan dipengaruhi oleh nilai feromon yang disimpan pada indeks matriks yang ada.

Penentuan pekerjaan mana yang akan dipilih dapat dimulai dengan melakukan proses randomisasi suatu angka. Angka tersebut akan berada di kisaran nilai 1 hingga jumlah nilai feromon dari indeks-indeks yang mungkin dilibatkan. Penentuan pekerjaan dilakukan dengan menambahkan secara satu per satu nilai feromon dari indeks yang terlibat dimulai dari nilai 0. Jika setelah ditambahkan nilai dari suatu indeks, jumlah nilai telah melebihi angka hasil randomisasi, maka pekerjaan yang dirujuk indeks tersebut akan dipilih sebagai pekerjaan yang diambil.

Proses pemilihan jalur dilakukan secara bertahap, dimulai dari pemilihan jalur pertama. Untuk pemilihan jalur pertama, nilai feromon yang mempengaruhi terpilihnya suatu jalur merupakan jumlah nilai feromon pada matriks dengan indeks kedua yang merujuk pada jalur tersebut. Sebagai contoh, jika dimisalkan terdapat 2 buah pekerjaan, maka jumlah nilai matriks pada indeks [1][1] dan indeks [2][1] merupakan nilai feromon untuk terpilihnya pekerjaan 1 untuk dikerjakan pertama kali.

Untuk pemilihan pekerjaan selanjutnya dilakukan dengan representasi normal dari matriks tersebut. Indeks pertama berfungsi sebagai penunjuk pekerjaan yang diambil sebelumnya dan indeks kedua merupakan penunjuk pekerjaan yang akan diambil selanjutnya. Proses pemilihan ini akan memperhatikan pekerjaan-pekerjaan yang sebelumnya telah dipilih. Sebagai contoh, jika dimisalkan terdapat 4 buah pekerjaan dan urutan pekerjaan yang sudah dipilih adalah [1,2], maka indeks matriks yang akan diperhatikan dalam proses pemilihan hanya indeks matriks [2][3] dan [2][4]. Indeks matriks [2][1] tidak diperhatikan karena sudah diambil untuk dikerjakan pertama kali.

3.2.4 Proses Penambahan Feromon

Setiap solusi yang dicoba akan menghasilkan makespan yang berbeda-beda. Nilai makespan yang dihasilkan mempengaruhi tingkat keoptimalan dari solusi tersebut. Semakin kecil nilai makespan yang dihasilkan, semakin besar tingkat keoptimalan dari suatu solusi.

Nilai feromon yang disimpan harus mampu mempengaruhi semut-semut untuk lebih sering memilih jalur yang lebih optimal. Oleh karena itu, nilai feromon pada solusi optimal harus lebih cepat bertambah. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memanipulasi banyak feromon yang ditambahkan. Semakin kecil nilai makespan yang dihasilkan, semakin besar nilai feromon yang akan disimpan atau ditambahkan.

Nilai feromon yang akan ditambahkan merupakan hasil proses pengurangan antara nilai makespan yang dihasilkan dengan suatu nilai tetap. Nilai tetap yang akan digunakan merupakan salah satu nilai makespan yang dihasilkan dari solusi yang akan dianggap sebagai nilai tengah dari makespan yang mungkin dihasilkan. Solusi yang akan dijadikan nilai tengah ini merupakan solusi yang menggunakan urutan nama / nomor pekerjaan sebagai urutan pengerjaan. Sebagai contoh, jika terdapat 3 buah pekerjaan, maka solusi yang dijadikan nilai tengah adalah solusi dengan urutan pengerjaan [1,2,3].

Banyaknya feromon yang ditambahkan tidak akan bernilai negatif. Jika feromon yang ditambahkan bernilai negatif, maka penambahan feromon dari solusi tersebut tidak akan dilakukan. Penambahan feromon akan dilakukan pada indeks-indeks matriks tertentu berdasarkan solusi yang diambil. Sebagai contoh, jika solusi yang diambil adalah [2,1,3], maka indeks-indeks matriks yang akan ditambahkan feromonnya adalah indeks matriks [2,1] dan [1,3]. Dengan ditamabbkannya matriks pada indeks-indeks tersebut, diharapkan indeks matriks tersebut akan lebih sering diacu dalam proses pengambilan jalur. Dengan ditamabbkannya feromon pada indeks-indeks tersebut juga diharapkan solusi dengan urutan pengerjaan [2,1,3] akan lebih sering diambil.

3.3 Proses Optimisasi Penjadwalan Flow Shop Dengan Menggunakan Algoritma Ant Colony

Pada saat melakukan proses optimisasi, algoritma ant colony akan melakukan proses pelatihan secara berulang-ulang. Pada setiap proses pelatihan, algoritma ant colony menyebarkan sejumlah semut yang akan mengerjakan kasus flow shop sesuai solusi yang dipilih masing-masing semut. Solusi-solusi tersebut dipilih secara acak berdasarkan nilai feromon yang disimpan. Solusi terbaik yang telah dipilih oleh suatu semut akan disimpan dan dibandingkan dengan solusi terbaik dari proses pelatihan sebelumnya.

Penambahan dan evaporasi nilai feromon yang disimpan akan dilakukan setiap suatu fase pelatihan dari algoritma ant colony selesai dilakukan. Nilai feromon yang ditambahkan akan

disesuaikan dengan solusi dan hasil yang didapat oleh masing-masing semut. Semakin baik hasil yang diberikan suatu solusi, semakin banyak nilai feromon yang ditambahkan pada indeks feromon yang mengacu pada solusi tersebut. Proses pelatihan akan terus dilakukan hingga suatu kondisi berhenti dicapai. Kondisi berhenti tersebut merupakan penanda bahwa hasil solusi yang dipilih sudah dapat dianggap sebagai solusi yang optimal.

Algoritma ant colony merupakan algoritma optimisasi yang cukup terkenal. Keunggulan-keunggulan dari algoritma ini diantaranya adalah :

- Mampu diaplikasikan pada berbagai macam permasalahan.
- Mampu memberikan salah satu solusi yang dapat dianggap baik secara cepat.

Sedangkan kekurangan algoritma ini adalah :

- Solusi terbaik pasti ditemukan, akan tetapi tidak ada lama waktu yang pasti untuk ditemukannya solusi optimal tersebut.
- Analisa secara teori tidak mungkin dilakukan, karena menggunakan pengambilan solusi secara acak dan tidak tetap.

Untuk menangani kelemahan-kelemahan tersebut, algoritma ant colony perlu menjabarkan jumlah pelatihan yang akan dilakukan dan banyaknya semut yang akan disebar pada satu kali proses pelatihan. Hal-hal tersebut perlu ditentukan agar proses pelatihan mampu menemukan solusi yang optimal dalam waktu yang relatif cepat. Semakin banyak proses pelatihan dan jumlah semut yang disebar, semakin besar kemungkinan ditemukannya solusi yang optimal. Akan tetapi pada saat yang bersamaan akan meningkatkan waktu pelaksanaan proses optimisasi. Baik atau tidaknya suatu proses optimisasi ditentukan oleh tingkat keoptimalan solusi yang dihasilkan dan waktu yang diperlukan untuk proses optimisasi.

3.3.1 Jumlah Semut

Jumlah semut dalam proses optimisasi algoritma ant colony sangat berpengaruh pada tingkat keoptimalan dari solusi yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah semut yang disebar, maka tingkat keoptimalan solusi yang diberikan akan cenderung lebih baik. Akan tetapi semakin banyak semut yang disebar akan menambah tingkat kompleksitas algoritma ini dan menambah waktu yang diperlukan untuk proses optimisasi. Jumlah semut yang disebar perlu ditentukan agar algoritma mampu memberikan solusi yang dapat dianggap cukup baik dalam waktu yang relatif cepat.

Pencarian solusi optimal untuk suatu kasus flow shop dapat dilakukan secara brute force. Pencarian solusi secara brute force dapat dianggap sebagai cara yang paling tidak efisien. Brute force akan menjabarkan solusi-solusi yang ada dan mencoba penyelesaian dengan menggunakan masing-masing solusi tersebut. Jika proses optimisasi diaplikasikan pada sebuah permasalahan, sebaiknya proses optimisasi tersebut dapat berjalan lebih cepat dibandingkan dengan cara brute force.

Jika permasalahan flow shop akan diselesaikan secara brute force, maka setiap solusi yang ada akan dijabarkan. Solusi-solusi pada flow shop dapat dicari dengan melakukan proses fungsi kombinasi pada banyaknya pekerjaan yang ada. Dilihat dari sisi kompleksitas, cara brute force memiliki tingkat kompleksitas $n!$, di mana n merupakan banyaknya pekerjaan yang ada.

Jumlah semut yang akan disebar sebaiknya kurang dari tingkat kompleksitas dengan cara brute force tersebut. Hal ini dilakukan agar optimisasi algoritma ant colony ini menjadi relatif lebih cepat dibandingkan dengan cara brute force. Jumlah semut yang optimal masih belum diketahui, oleh karena itu sekurang-kurangnya perlu diketahui pengaruh dari jumlah semut yang disebar terhadap hasil optimisasi algoritma ini.

3.3.2 Aturan Berhenti

Ada berbagai cara yang dapat dipakai dalam menentukan waktu berhenti dari proses optimisasi algoritma ant colony. Beberapa parameter yang dapat digunakan untuk penentuan waktu berhenti di antaranya

- Nilai data masukan yang diberikan : algoritma akan terus melakukan pelatihan sebanyak n kali, di mana n memiliki hubungan aritmatik dengan salah satu data masukan kasus.
- Sesuai dengan keinginan pengguna : algoritma akan terus melakukan pelatihan hingga pengguna merasa hasil akhir yang diberikan sudah cukup optimal.

Perlu diingat pula bahwa salah satu dari kekurangan algoritma ant colony adalah tidak adanya lama waktu yang pasti untuk ditemukannya solusi yang paling optimal. Algoritma ant colony menggunakan proses randomisasi untuk penentuan solusi-solusi optimal. Meskipun proses randomisasi tetap dipengaruhi oleh feromon-feromon pada indeks matriks, tidak berarti bahwa solusi yang lebih optimal akan selalu terpilih. Proses randomisasi pada algoritma tetap memiliki kemungkinan terpilihnya solusi yang kurang optimal secara terus menerus.

Berdasarkan hal-hal tersebut, aturan berhenti algoritma ini akan disesuaikan dengan keinginan pengguna. Jika aturan berhenti algoritma dilakukan berdasarkan nilai data masukan, hasil yang akan diberikan belum tentu dapat dianggap sebagai hasil yang baik. Tidak ada jaminan bahwa hasil akhir yang baik jika dilakukan proses pelatihan sebanyak n kali. Jika aturan berhenti disesuaikan dengan data keluaran yang dihasilkan, belum tentu data keluaran yang diberikan merupakan solusi yang baik. Algoritma ant colony memiliki kemungkinan memilih solusi yang kurang optimal secara terus menerus, meskipun kemungkinan tersebut sangatlah kecil.

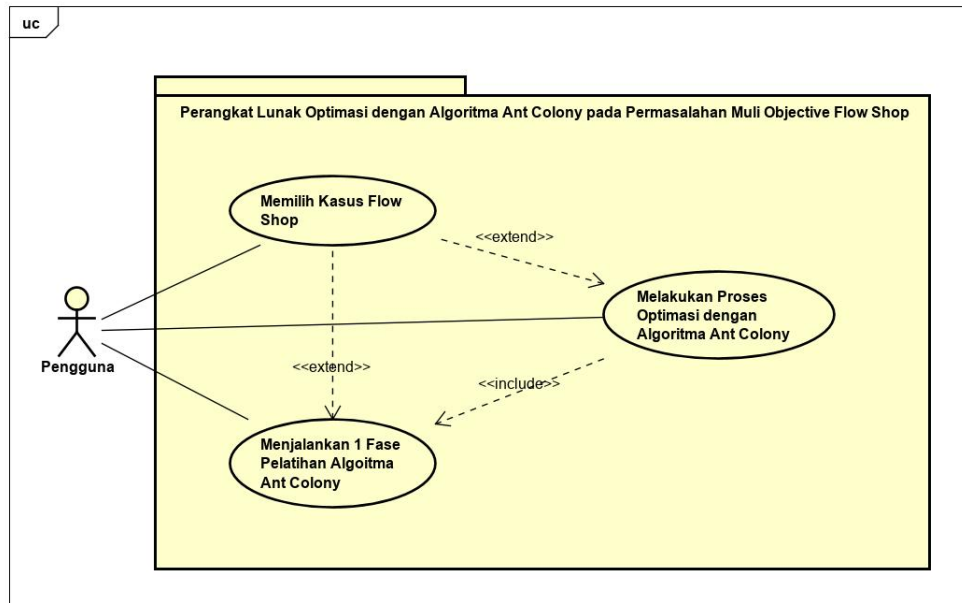
3.4 Analisis Perangkat Lunak

Dengan tujuan untuk mengatasi permasalahan yang dipaparkan dalam bab - bab sebelumnya, maka dirancang perangkat lunak yang mampu melakukan klasifikasi permasalahan flowshop tersebut. Perangkat lunak yang dibuat dapat melakukan fitur-fitur berikut ini :

- Perangkat lunak dapat membaca masukan data permasalahan flowshop yang berupa file .txt.
- Perangkat lunak dapat melakukan pelatihan menggunakan data dari Tailard.
- Perangkat lunak dapat menampilkan makespan dan urutan pengerjaan dari job yang ada.]item Perangkat lunak dapat menampilkan nilai utilitas dari mesin yang ada.

3.4.1 Use Case Diagram

Perangkat Lunak yang dibuat akan mampu berinteraksi dengan pengguna. Pengguna akan mampu menjabarkan kasus flow shop yang ingin dicari hasil optimalnya. Pengguna juga akan dapat mengatur kapan dan bagaimana berlangsungnya suatu proses optimisasi. Untuk mewujudkan interaksi tersebut, berikut adalah rancangan use case diagram yang menjabarkan hal-hal yang mampu dilakukan pengguna melalui perangkat lunak ini.



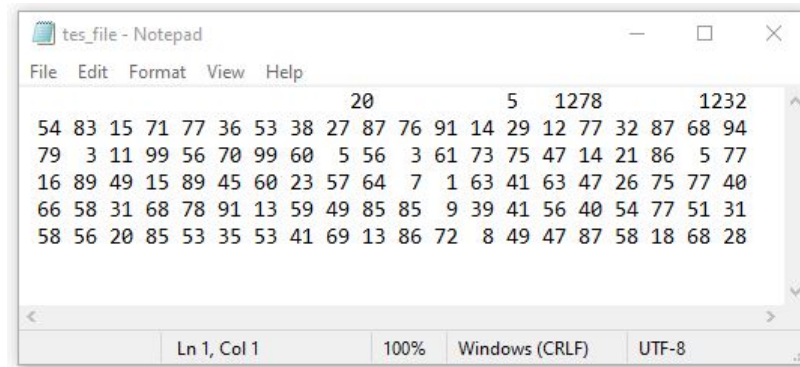
Gambar 3.1: Use Case Diagram

Penjelasan diagram :

- **Memilih kasus Flow Shop**
Pengguna dapat memilih kasus flow shop yang ingin dicari hasil optimalnya. Kasus tersebut akan dijabarkan dalam sebuah file teks dengan format penulisan tertentu. Pengguna dapat memilih salah satu file teks tersebut sebagai kasus flow shop yang ingin dicari hasil optimalnya. Pengguna hanya dapat melakukan proses optimisasi dengan menggunakan algoritma ant colony setelah pengguna memilih kasus flow shop yang ingin dioptimisasi.
- **Menjalankan 1 fase pelatihan algoritma ant colony**
Pengguna dapat menjalankan 1 kali fase pelatihan dari algoritma ant colony. Proses pelatihan ini akan mengembalikan informasi mengenai hasil optimal (makespan dan nilai utilitas mesin) yang didapat pada fase pelatihan ini.
- **Melakukan proses optimisasi dengan menggunakan algoritma ant colony**
Proses optimisasi ini akan menjalankan fase pelatihan algoritma ant colony secara terus menerus hingga kondisi berhenti yang ditentukan tercapai. Hasil makespan dan nilai utilitas yang didapatkan pada setiap fase pelatihan akan ditampilkan.

3.4.2 Input dan Output

Perangkat lunak akan mampu menerima data masukan dari sebuah file teks. File teks tersebut akan berisi informasi mengenai banyaknya mesin, banyaknya pekerjaan, waktu proses untuk setiap pekerjaan, dan nilai upper beserta lower bound dari setiap kasus. File teks tersebut akan memiliki format penulisan tertentu, agar file teks tersebut dapat dikonversi menjadi suatu kasus flow shop.



Gambar 3.2: Input Program

Gambar di atas merupakan contoh file teks yang dapat diterima oleh program yang akan dibangun. File teks tersebut terdiri dari 20 pekerjaan dan 5 mesin. Penjelasan lengkap dari gambar tersebut sebagai berikut :

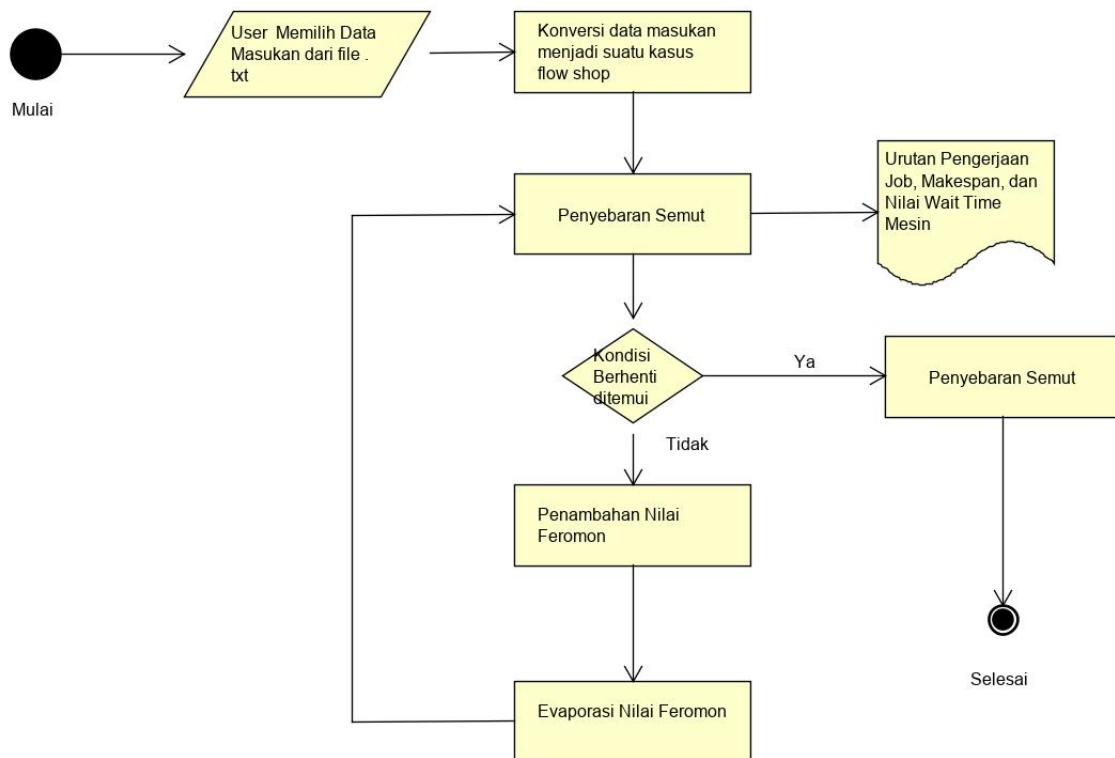
1. Baris pertama terdiri atas empat nilai.
2. Nilai pertama merupakan banyaknya pekerjaan.
3. Nilai kedua merupakan banyaknya mesin.
4. Nilai ketiga merupakan upper bound dari suatu kasus.
5. Nilai keempat merupakan lower bound dari suatu kasus.
6. Baris kedua hingga akhir merupakan waktu proses untuk setiap pekerjaan.

Nilai upper bound akan dianggap sebagai nilai makespan optimal / nilai makespan target yang ingin dicapai oleh proses optimisasi. Nilai lower bound akan dianggap sebagai nilai makespan minimal yang mungkin dicapai dari suatu kasus. Nilai lower bound ini akan dijadikan batas nilai makespan yang mungkin dihasilkan dari suatu kasus. Nilai lower bound ini akan digunakan untuk pengujian perangkat lunak. Jika nilai makespan yang dihasilkan lebih kecil dari nilai lower bound, maka kemungkinan terdapat kesalahan pada perangkat lunak.

Setelah mengkonversi data masukan menjadi suatu kasus flow shop, perangkat lunak akan melakukan proses optimisasi. Proses optimisasi akan menghasilkan suatu solusi berupa urutan pengerjaan yang menghasilkan makespan yang dianggap optimal beserta nilai wait time dari setiap kasus. Perangkat lunak kemudian akan menampilkan di layar pengguna mengenai urutan pengerjaan yang dianggap optimal, nilai makespan yang dihasilkan, dan nilai wait time dari suatu kasus. Perangkat lunak juga akan menampilkan banyaknya pelatihan yang telah dilakukan untuk mendapat urutan pengerjaan tersebut.

3.4.3 Flow Chart Proses Optimasi

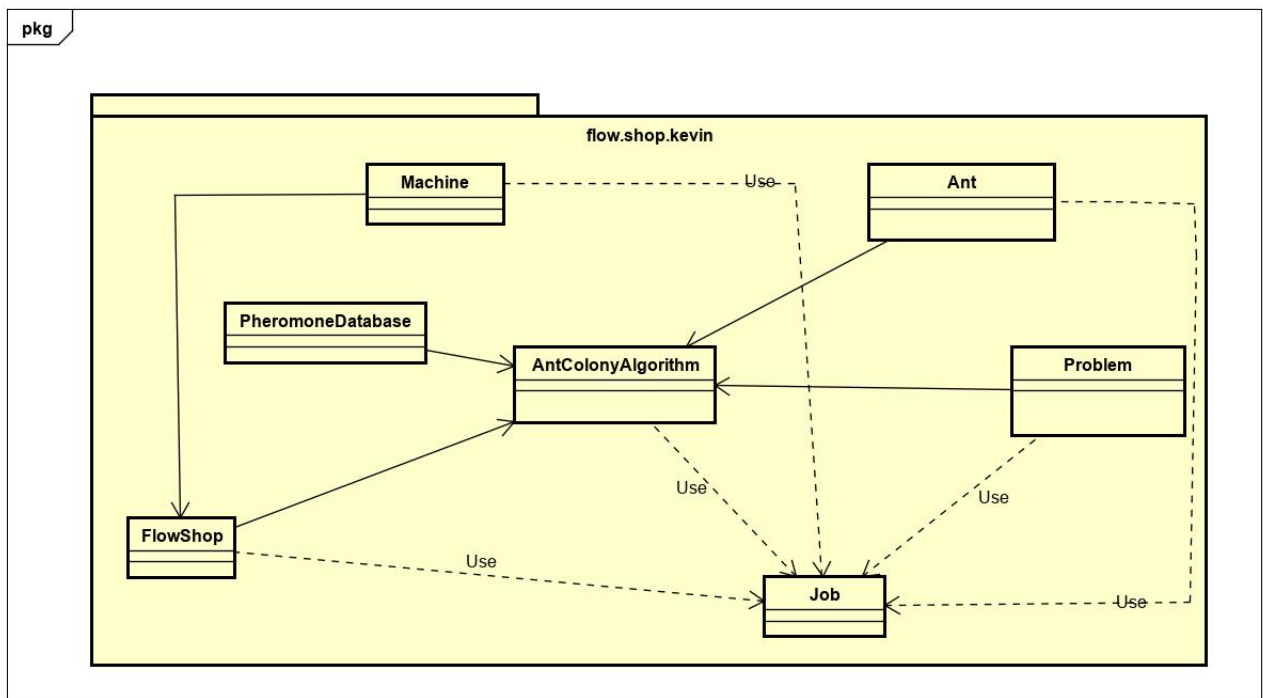
Proses optimisasi dengan algoritma ant colony dilakukan setelah mengkonversi data masukan menjadi sebuah kasus flow shop. Algoritma ant colony akan menyesuaikan diri dengan kasus flow shop yang ingin dicari solusi optimalnya. Algoritma ant colony akan melakukan proses optimisasi dengan cara melakukan proses pelatihan secara berulang-ulang hingga suatu kondisi berhenti tercapai. Berikut adalah flow chart mengenai bagaimana perangkat lunak ini akan melakukan proses optimisasi dengan menggunakan algoritma ant colony.



Gambar 3.3: Flowchart Optimasi

3.4.4 Diagram Kelas Secara Umum

Diagram kelas digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kelas-kelas yang terdapat dalam sistem perangkat lunak yang dibangun serta hubungan antar kelasnya. Pada bab ini hanya akan ditampilkan diagram kelas secara umum saja. Untuk lebih detailnya akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Diagram kelas tersebut sebagai berikut :



Gambar 3.4: Diagram kelas umum

BAB 4

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Pada bab ini akan dibahas mengenai detail-detail dari perangkat lunak optimisasi algoritma ant colony untuk kasus multi objective flow shop. Struktur kelas dan hal-hal yang mampu dilakukan melalui perangkat lunak ini juga akan dijabarkan.

BAB 5

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan hasil implementasi algoritma pada perangkat lunak ini. Cara dan hasil pengujian perangkat lunak juga akan dijabarkan pada bab ini. Hasil pengujian tersebut akan digunakan pengukuran tingkat keoptimalan dari proses optimisasi yang dilakukan algoritma ant colony pada perangkat lunak.

5.1 Implementasi

5.1.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras

Perangkat lunak ini dibangun menggunakan beberapa spesifikasi perangkat keras sebagai berikut :

1. Processor : Intel(R) Core(TM) i5-5200U 2.20GHz
2. Operating System : Windows 10 Pro 64-bit (10.0, Build 18362)
3. Memory: 4096MB RAM

5.1.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak ini dibangun menggunakan beberapa spesifikasi perangkat lunak sebagai berikut :

1. NetBeans IDE versi 8.2
2. Bahasa pemrograman Java (jdk) versi 1.7

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai hal-hal apa saja yang dapat disimpulkan dari karya tulis ini. Beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya dari perangkat lunak ini juga akan dijabarkan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Baker, K. (1974) *Introduction to sequencing and scheduling*. Wiley.
- [2] Bedworth, D. D. dan Bailey, J. E. (1999) *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, Design*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.

LAMPIRAN A

KODE PROGRAM

Listing A.1: MyCode.c

```
1 // This does not make algorithmic sense,
2 // but it shows off significant programming characters.
3
4 #include<stdio.h>
5
6 void myFunction( int input, float* output ) {
7     switch ( array[i] ) {
8         case 1: // This is silly code
9             if ( a >= 0 || b <= 3 && c != x )
10                 *output += 0.005 + 20050;
11             char = 'g';
12             b = 2^n + ~right_size - leftSize * MAX_SIZE;
13             c = (--aaa + &daa) / (bbb++ - ccc % 2 );
14             strcpy(a,"hello_$@?");
15         }
16         count = ~mask | 0x00FF00AA;
17     }
18 }
19
20 // Fonts for Displaying Program Code in LATEX
21 // Adrian P. Robson, nepsweb.co.uk
22 // 8 October 2012
23 // http://nepsweb.co.uk/docs/progfonts.pdf
```

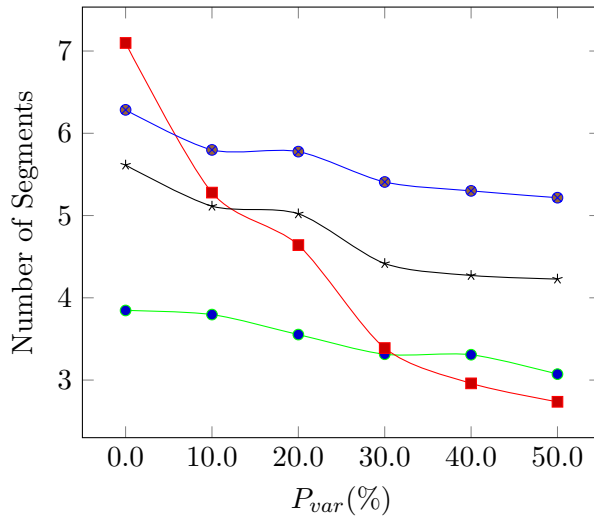
Listing A.2: MyCode.java

```
1 import java.util.ArrayList;
2 import java.util.Collections;
3 import java.util.HashSet;
4
5 //class for set of vertices close to furthest edge
6 public class MyFurSet {
7     protected int id; //id of the set
8     protected MyEdge FurthestEdge; //the furthest edge
9     protected HashSet<MyVertex> set; //set of vertices close to furthest edge
10    protected ArrayList<ArrayList<Integer>> ordered; //list of all vertices in the set for each trajectory
11    protected ArrayList<Integer> closeID; //store the ID of all vertices
12    protected ArrayList<Double> closeDist; //store the distance of all vertices
13    protected int totaltrj; //total trajectories in the set
14
15    /*
16     * Constructor
17     * @param id : id of the set
18     * @param totaltrj : total number of trajectories in the set
19     * @param FurthestEdge : the furthest edge
20     */
21    public MyFurSet(int id,int totaltrj,MyEdge FurthestEdge) {
22        this.id = id;
23        this.totaltrj = totaltrj;
24        this.FurthestEdge = FurthestEdge;
25        set = new HashSet<MyVertex>();
26        ordered = new ArrayList<ArrayList<Integer>>();
27        for (int i=0;i<totaltrj;i++) ordered.add(new ArrayList<Integer>());
28        closeID = new ArrayList<Integer>(totaltrj);
29        closeDist = new ArrayList<Double>(totaltrj);
30        for (int i = 0;i <totaltrj;i++) {
31            closeID.add(-1);
32            closeDist.add(Double.MAX_VALUE);
33        }
34    }
35
36 }
```

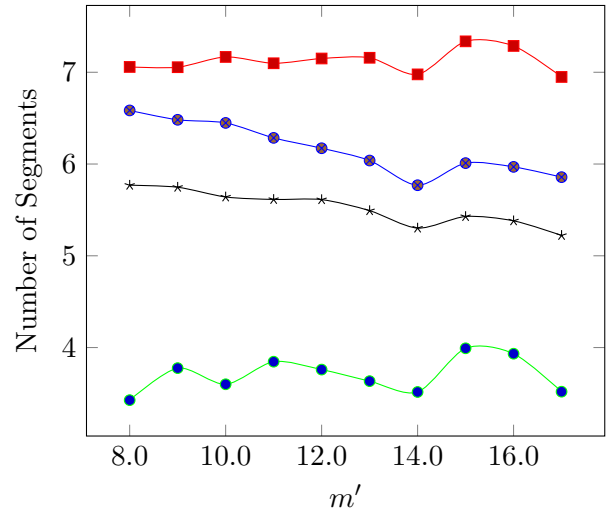

LAMPIRAN B

HASIL EKSPERIMEN

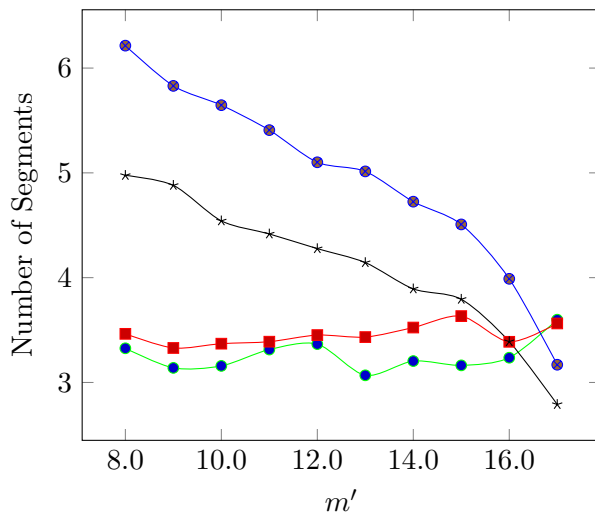
Hasil eksperimen berikut dibuat dengan menggunakan TIKZPICTURE (bukan hasil excel yg diubah ke file bitmap). Sangat berguna jika ingin menampilkan tabel (yang kuantitasnya sangat banyak) yang datanya dihasilkan dari program komputer.



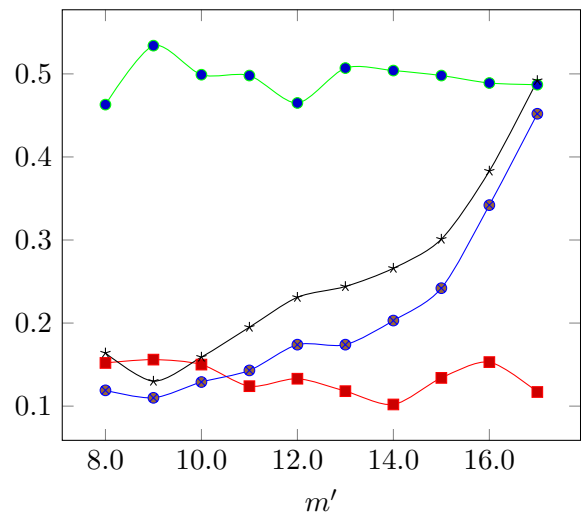
Gambar B.1: Hasil 1



Gambar B.2: Hasil 2



Gambar B.3: Hasil 3



Gambar B.4: Hasil 4