

Usulan Penerapan Metode *Genetic Algorithm* dalam Penjadwalan Sistem Produksi *Jobshop* Produk Tangki Air dengan 4 Dudukan Untuk Meminimasi *Makespan* di PT Megah Steel

Proposal of Genetic Algorithm Method Implementation in 4 Seats Water Tank Job Shop Production System to Minimize Makepan at PT Megah Steel

Yosephine Angelita¹, Santoso², Vivi Arisandhy³
nonnik_angel@yahoo.com¹, santoso_ajiank@yahoo.com², veivi25@yahoo.com³

Abstrak (Abstract)

PT Megah Steel merupakan suatu perusahaan manufaktur. Sebagai suatu mitra bengkel, perusahaan memproduksi marmer pada bagian mass production dan pesanan produk job order. Masalah yang biasa dijumpai terletak pada metode penjadwalan yang digunakan oleh perusahaan. Metode ini menyebabkan besarnya waktu menganggur sebesar 85.04% pada beberapa mesin seperti mesin turret, mesin planning, mesin bodem, mesin bor serta mesin roll. Besarnya delay ini menyebabkan menurunnya utilisasi mesin dan makespan menjadi besar.

Penulis mengusulkan penggunaan metode genetika dengan kriteria meminimasi makespan dan metode aktif sebagai metode pembanding. Sebelum dilakukan proses perbandingan ini, penulis membuat software untuk memudahkan dan mempersingkat waktu perhitungan yang dilakukan. Kemudian akan ditentukan metode yang terbaik untuk digunakan perusahaan melalui kasus tangki air 4 dudukan.

Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan, didapatkan nilai penghematan utilisasi dengan menggunakan metode aktif sebesar 9.23% dan 9.50% untuk metode genetika. Oleh karena itu, penulis mengusulkan untuk menggunakan metode genetika sebagai suatu metode usulan. Manfaat dari penerapan metode genetika di perusahaan ini adalah perusahaan dapat menyelesaikan produknya dengan waktu yang lebih singkat. Makespan tangki air ini mengecil sebesar 100 menit (5.21%) yaitu dari 1918 menit menjadi 1818 menit. Seiring dengan menurunnya nilai makespan ini maka utilisasi mesin juga meningkat sebesar 9.50% dan terjadi penurunan waktu menganggur pada sepuluh mesin yang digunakan sebesar 1108 menit (6.79%) dari metode aktual perusahaan saat ini.

Kata kunci : *penjadwalan, job shop, algoritma genetika, makespan*

PT Megah Steel is a manufacturing company. As a partner workshop, the companies producing marble in the mass production and job orders. Common problems encountered lies in the scheduling method used by the company. This method causes much delay or idle time of 85.04% on some machines such as turret machine, planning machine, bodem machine, drilling machine and roll machine. The magnitude of this delay caused by the decrease of machine utilization and makespan becomes large.

The author proposes the use of genetic methods to minimize the makespan criterion and active methods as a method of comparison. Before this comparison process, the author makes software to simplify and shorten the time to do calculations. Then be determined the best method to use the company through the case of 4 seats water tank.

Based on the data processing is done, get the value of utilization savings by using active methods of 9:23% and 9.50% for the genetic method. Therefore, the authors propose to use genetic methods as a proposed method. Benefit from the application of genetic methods in this company is the company can complete its product in a short time. Makespan this water tank decrease by as much as 100 minutes (5.21%) is from 1918 minutes to 1818 minutes. Along with this decline in value of the makespan machine utilization also increased by 9.50% and a decline in the delay of ten machines used for 1108 minutes (6.79%) of the actual method of the current company.

Keyword: *scheduling, job shop, genetic algorithm, makespan.*

¹ Yosephine Angelita, Mahasiswa Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

² Santoso, Dosen Pembimbing I, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

³ Vivi Arisandhy, Dosen Pembimbing II, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha

1. Pendahuluan

Perusahaan Megah Steel yang berlokasi di Jl Terusan Pasir Koja No 242 ini bergerak dalam bidang manufaktur. Sebagai suatu mitra bengkel, perusahaan memproduksi berdasarkan *mass production* dan adanya pesanan *job order*. Pada bagian *mass production*, diproduksi marmer dari batu alam. Pada bagian *job order*, dilakukan proses pembentukan produk dari lempengan besi maupun baja menjadi suatu produk sesuai dengan pesanan. Produksi *job order* ini menggunakan mesin tekuk, mesin potong, mesin silinder, mesin las, mesin *roll*, mesin *bodem*, mesin *planning* dan mesin *turret*. Produk jadi yang dihasilkan sesuai dengan pesanan, seperti rak-rak susun, tangki air, silinder dengan ukuran besar yang tidak dapat dibuat pada bengkel kecil.

Masalah yang biasa dijumpai adalah adanya *delay* atau menganggur yang cukup sering pada beberapa mesin seperti mesin *turret*, mesin *planning*, mesin *bodem*, mesin bor serta mesin *roll*. Besarnya *delay* menyebabkan menurunnya utilisasi mesin dan *makespan* menjadi besar. Masalah tersebut dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu manusia, mesin, material, dan metode. Masalah-masalah yang diakibatkan oleh manusia, mesin, material tidak terlalu sering terjadi dan masih mampu diatasi oleh perusahaan. Oleh karena itu, permasalahan utama terletak pada penggunaan metode perusahaan.

Berdasarkan hal tersebut, penulis memberikan usulan penjadwalan yang bertujuan memperbaiki penjadwalan perusahaan dengan meminimasi nilai *makespan*.

2. Pembatasan Masalah dan Asumsi

Batasan masalah yang diberikan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengamatan dilakukan pada pembuatan produk *job order*.
2. Pesanan yang diamati adalah pesanan pada tanggal 15 Juli 2009
3. Produk yang diamati adalah tangki air dengan 4 dudukan

Asumsi yang digunakan adalah :

1. Mesin yang digunakan dalam kondisi baik
2. Bahan baku dan bahan pendukung cukup tersedia selama produksi
3. Operator dalam keadaan siap dan bekerja secara wajar.

3. Perumusan Masalah

Dari masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang ada di perusahaan saat ini, yaitu :

1. Apa yang menjadi kekurangan dari metode penjadwalan yang diterapkan perusahaan saat ini?
2. Bagaimana metode penjadwalan yang dapat diterapkan pada perusahaan saat ini?
3. Apa kelebihan yang diperoleh perusahaan dengan menerapkan metode penjadwalan yang telah diusulkan?

4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukan penelitian tugas akhir ini adalah untuk :

1. Mengidentifikasi kekurangan dari metode penjadwalan yang telah dilakukan oleh perusahaan saat ini.
2. Memberikan usulan metode penjadwalan yang dapat diterapkan pada perusahaan saat ini.
3. Mengidentifikasi kelebihan yang diperoleh perusahaan dengan menerapkan metode penjadwalan yang telah diusulkan.

5. Studi Literatur

5.1 Metode Genetika

Metode Genetika merupakan suatu metode penyelesaian yang berdasarkan pada mekanisme evolusi biologi. Teori ini bercerita bahwa suatu individu yang memiliki karakteristik bagus dengan kriteria-kriteria akan mempunyai kemungkinan untuk bertahan hidup lebih besar, bereproduksi, dan menurunkan karakteristiknya pada keturunan-keturunannya. Berlaku sebaliknya, individu dengan karakteristik yang kurang bagus secara perlahan-lahan akan tersingkir.

Keunggulan dari penggunaan metode genetika ialah seperti di bawah ini :

1. Metode genetika menyelesaikan masalah dengan mengkodekan permasalahan menjadi suatu kromosom, bukan menyelesaikan permasalahan itu sendiri.
2. Metode genetika mencari dari sekumpulan solusi, tidak dengan sebuah solusi saja.
3. Metode genetika menggunakan hasil informasi (fungsi *fitness*) sebagai referensi pencariannya, tidak menggunakan nilai turunannya atau nilai lainnya.
4. Metode genetika menggunakan aturan transisi probabilistik, bukan deterministik.
5. Metode genetika tidak memiliki banyak kebutuhan matematis untuk masalah optimasi.
Metode genetika merupakan suatu algoritma yang buta karena tidak tau kapan dirinya telah mencapai suatu solusi yang optimal.

5.2 Langkah Metode Genetika

1. Data yang diperlukan

Data-data yang diperlukan adalah waktu proses pembuatan, jumlah mesin, *job* yang diamati, dan urutan dari proses pengerjaan (*routing*).

2. Penentuan parameter

Berdasarkan data-data diatas maka dapat ditentukan parameter-parameter yang digunakan.

Parameter Metode Genetika

1. Ukuran Populasi

Ukuran populasi menunjukkan banyaknya kromosom yang membentuk suatu populasi. Penentuan ukuran populasi yang dapat menghasilkan suatu solusi yang memuaskan tidak memiliki suatu aturan yang baku tetapi biasanya hanya dilakukan dengan metode *trial dan error*. Pemilihan ukuran populasi tergantung pada tingkat kerumitan suatu kasus yang dihadapi. Semakin rumit masalah yang dihadapi maka semakin besar ukuran populasi yang digunakan.

2. Jumlah Generasi

Jumlah generasi menunjukkan banyaknya pengulangan perhitungan genetika yang hendak dihasilkan, dimana setiap generasi hanya terdiri dari satu populasi awal dan menghasilkan satu populasi baru. Jumlah generasi akan menjadi batasan dalam menghasilkan populasi baru.

3. Probabilitas Crossover (Pc)

Probabilitas *crossover* merupakan nilai kemungkinan suatu kromosom untuk mengalami *crossover*. Besarnya probabilitas ini harus ditentukan dari awal proses pencarian solusi. Semakin besar probabilitas maka semakin besar pula kemungkinan struktur individu baru diperkenalkan di dalam populasi. Menurut Marek Obitko, probabilitas *crossover* yang baik adalah antara 0.80 sampai dengan 0.95.

4. Probabilitas Mutasi (Pm)

Probabilitas mutasi merupakan besar kemungkinan suatu kromosom untuk mengalami mutasi. Besarnya probabilitas ini juga harus ditentukan dari awal proses pencarian solusi. Pada seleksi alam murni, proses mutasi jarang sekali terjadi. Oleh karena itu proses mutasi buatan dalam metode ini pun tidak selalu terjadi. Maka nilai dari probabilitas mutasi ini biasanya dibuat kecil. Menurut Marek Obitko, probabilitas mutasi yang baik adalah antara 0.5 sampai dengan 0.1.

3. Membentuk populasi awal (*Encoding*)

Populasi awal dibentuk untuk menentukan banyaknya kromosom yang dihasilkan dimana jumlah populasi akan sama dengan jumlah kromosom. Semakin banyak populasi yang dibentuk maka akan semakin variasi kromosom yang dihasilkan akan semakin banyak.

Pemecahan yang dilakukan pada metode genetika ini adalah bagaimana cara mengentepretasikan suatu solusi masalah ke dalam kromosom. Pemecahan tersebut menggunakan suatu inisialisasi awal yang biasa disebut dengan *encoding* (menggunakan rangkaian bilangan biner dalam mempresentasikan set solusi masalah ke dalam kromosom).

Pemilihan bentuk representasi solusi masalah menjadi suatu kromosom merupakan proses dasar untuk menyelesaikan masalah dalam dunia nyata. Setiap masalah perlu dianalisis untuk memastikan representasi yang cocok dan penggunaan operator Genetika yang spesifik.

Metode genetika bekerja dalam ruang kode dan ruang solusi, yang artinya metode ini bekerja menggunakan kode untuk mendapatkan evaluasi sementara dan seleksi bekerja dalam ruang solusi. Proses seleksi merupakan hubungan antara kromosom dan performansi dari penguraian solusi kode. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada proses *decoding* dan *encoding* ini adalah :

1. *Feasibilitas* kromosom
Bagaimana suatu penguraian kode solusi dari suatu kromosom yang terletak pada daerah feasibel suatu daerah.
2. Legalitas kromosom
Suatu kromosom telah mewakili suatu solusi masalah atau tidak.
3. Keunikan kromosom.

Setiap kromosom sebaiknya mewakili satu solusi masalah. Pada kasus tertentu.

4. Melakukan proses *decoding* pada semua kromosom awal

Proses *decoding* adalah proses transformasi dalam suatu kromosom yang bertujuan menghasilkan urutan penjadwalan yang baik dan tidak melanggar aturan penjadwalan.

5. Melakukan proses *crossover*

Proses *crossover* dilakukan untuk mendapatkan kromosom keturunan yang lebih baik. Semakin besar probabilitas *crossover* yang digunakan, variasi struktur individu baru yang dihasilkan dalam populasi akan semakin banyak. Proses dilakukan dari hasil *decoding* kromosom awal. Beberapa metode yang bisa digunakan dalam *crossover* ini adalah :

- a. *Partially Mapped Crossover (PMX)* (Gen, 1997)
- b. *Order Crossover (OX)* (Golberg, 1987)
- c. *Cycle Crossover (CX)* (Golberg, 1987)

6. Melakukan proses *decoding* untuk kromosom *offspring crossover*

Setelah mengetahui kromosom yang akan mengalami *crossover*, maka kromosom yang terpilih tersebut akan menjadi *parent* dan akan dipertukarkan antar *parent*. Kromosom yang sudah dipertukarkan tersebut akan menjadi kromosom *offspring* dan dilakukan proses *decoding* kembali.

7. Menyiapkan kromosom untuk proses mutasi

Kromosom yang akan mengalami mutasi yaitu kromosom awal, dan kromosom *offspring crossover*. Mutasi merupakan operator genetika yang mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam suatu kromosom. Mutasi merupakan bagian yang sangat penting dalam metode genetika karena akan mencegah terjadinya lokal optimal. Proses mutasi terjadi berdasarkan probabilitas mutasi yang telah ditetapkan. Probabilitas mutasi (P_m) yang secara alamiah biasanya kecil, agar penyimpangan yang terjadi tidak terlalu jauh dari kromosom induk. Ada beberapa metode untuk melakukan proses mutasi yaitu :

- a. *Order based mutation*
- b. *Position based mutation*
- c. *Scramble mutation*

8. Melakukan proses mutasi

Proses mutasi dilakukan dengan membandingkan nilai bilangan random yang dibangkitkan. Bilangan random yang dibandingkan yaitu antar gen dari satu kromosom. Bila bilangan random tersebut lebih kecil atau sama dengan nilai dari probabilitas mutasi maka gen tersebut akan mengalami mutasi.

9. Melakukan proses *decoding* untuk kromosom hasil mutasi

Dari proses mutasi tersebut akan dihasilkan kromosom *offspring* mutasi kemudian lakukan proses *decoding* untuk mendapatkan nilai *makespan*.

10. Proses seleksi

Setelah mendapatkan nilai *fitness* dari tiap kromosom maka urutkan nilai *fitness* tiap kromosom dari yang terbesar sampai terkecil. Hasil dari seleksi tersebut, akan disimpan sebagai kromosom awal pada generasi berikutnya. Jumlah kromosom hasil seleksi harus sesuai dengan jumlah populasi awal.

Dalam prosedur seleksi yang proporsional, probabilitas seleksi suatu kromosom akan sebanding dengan ukuran *fitness*. Prosedur seleksi ini memiliki kekurangan. Misalnya saja pada generasi awal, nilai yang muncul akan memiliki kecenderungan memiliki nilai *fitness* yang tinggi

pada beberapa kromosom. Saat jumlah generasi bertambah dan ukuran populasi sudah berkembang maka kompetisi antar kromosom menjadi kurang kuat dan menimbulkan populasi yang konvergen.

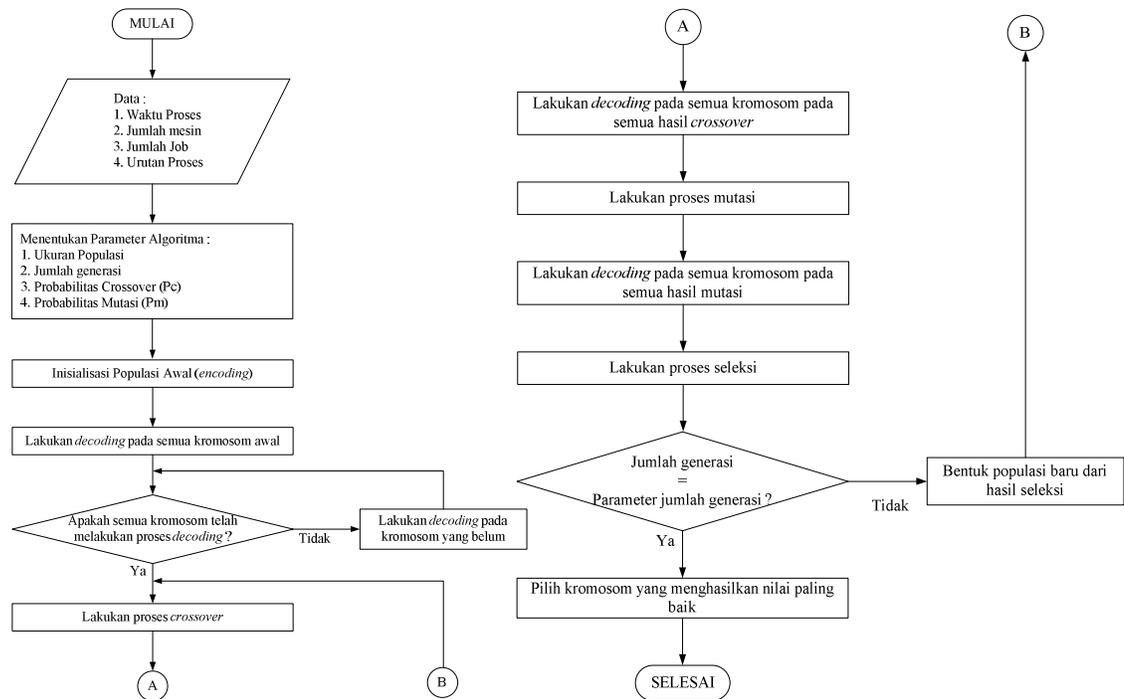
Menurut Gen dan Cheng dalam mengatasi kekurangan tersebut maka dilakukan dua buah mekanisme seperti dibawah ini :

1. *Ranking Mechanisms*

Mekanisme ini mengabaikan nilai *fitness* dari setiap kromosom yang biasanya dipergunakan untuk menghasilkan probabilitas seleksi di setiap kromosom. Mekanisme ini menggunakan ranking atau urutan kromosom dalam menentukan kromosom-kromosom mana saja yang akan bertahan pada generasi yang selanjutnya.

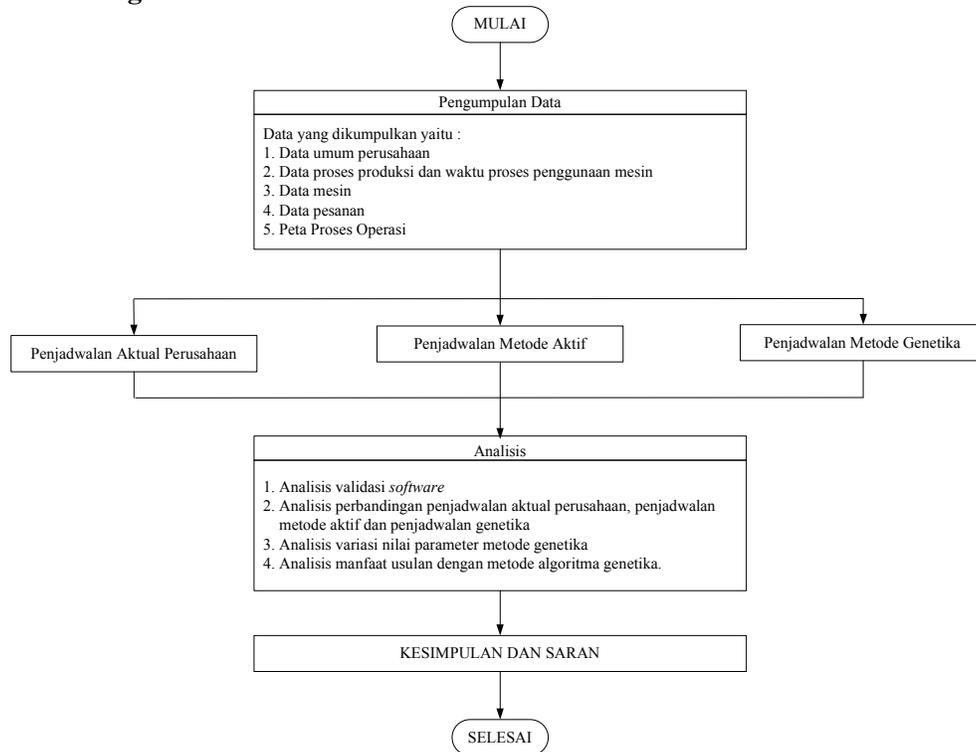
2. *Scaling Mechanisms*

Mekanisme ini dilakukan dengan memetakan nilai *fitness* dari suatu kromosom menjadi suatu kumpulan nilai positif. Probabilitas setiap kromosom yang bertahan pada generasi selanjutnya akan ditentukan oleh nilai ini. Cara tersebut dilakukan untuk mencegah dominasi kromosom super, membatasi persaingan di awal generasi, dan merangsang persaingan di generasi-generasi berikutnya.



Gambar 1
Bagan Alir Algoritma Genetika

6. Metodologi Penelitian



Gambar 2
Bagan Alir Metodologi Penelitian

7. Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu : data waktu proses, data urutan proses, jumlah mesin, data produk, *layout*, *Peta Proses Operasi*, dan *ganttchart*.

8. Pengolahan Data dan Analisis

8.1 Validasi *Software*

1. Penentuan Parameter
 - Ukuran populasi : 4
 - Jumlah generasi : 2
 - Probabilitas *crossover* : 0.95
 - Probabilitas mutasi : 0.05

2. *Encoding*

Suatu inialisasi awal atau biasa disebut dengan pembentukan awal. Metode yang digunakan yaitu *Preference List Based Representation*.

- Kromosom 1

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 |

- Kromosom 2

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 |

- Kromosom 3

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| 1-2 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 |

- Kromosom 4

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| 2-1 | 8 | 10-6-5-3-7-6 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 |

3. Decoding

Proses *decoding* dilakukan untuk menghitung nilai *makespan* pada masing-masing kromosom, yang didapatkan dengan langkah-langkah di bawah ini

- Kromosom 1, Iterasi 1

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 |

Job yang pertama kali muncul pada masing-masing mesin adalah sebagai berikut

- Job 2 mesin 1
- Job 8 mesin 2
- Job 5 mesin 3
- Job 7 mesin 4
- Job 10 mesin 5
- Job 2(2) mesin 6
- Job 9 mesin 8
- Job A(9) mesin 9
- Job 4 mesin 10

Job yang dapat dijadwalkan

- Job 8 mesin 2
- Job 9 mesin 8
- Job 4 mesin 10

Aturan yang berlaku pada pemilihan job :

- Job 8 mesin 2
 Job 8 merupakan job yang pertama kali muncul pada mesin 2 dan merupakan operasi pertama pada job 8
 Interval waktu menganggur pada mesin 2 adalah $0 \leq t \leq \sim$
 Job pada mesin 2 selesai pada $t = 0$
 Jadwalkan job 8 pada mesin 2 pada $t = 0$
 $C_{82} = r_2 + t_{82} = 0 + 10 = 10$
- Job 9 mesin 8
 Job 9 merupakan job yang pertama kali muncul pada mesin 8 dan merupakan operasi pertama pada job 9
 Interval waktu menganggur pada mesin 8 adalah $0 \leq t \leq \sim$
 Job pada mesin 8 selesai pada $t = 0$
 Jadwalkan job 9 pada mesin 8 pada $t = 0$
 $C_{98} = r_8 + t_{98} = 0 + 15 = 15$
- Job 4 mesin 10
 Job 4 merupakan job yang pertama kali muncul pada mesin 10 dan merupakan operasi pertama pada job 4
 Interval waktu menganggur pada mesin 10 adalah $0 \leq t \leq \sim$
 Job pada mesin 10 selesai pada $t = 0$
 Jadwalkan job 4 pada mesin 10 pada $t = 0$
 $C_{82} = r_4 + t_{104} = 0 + 8 = 8$

Gambar 3
Ganttchart Kromosom 1

4. Crossover

Metode yang digunakan pada *crossover* ini adalah *Partially Mapped Crossover (PMX)*. Pada awalnya dibangkitkan bilangan random 0 sampai dengan 1 pada setiap kromosom yang kemudian akan dibandingkan dengan probabilitas *croosover* (P_c). Bila bilangan random lebih besar daripada P_c maka kromosom tersebut tidak mengalami *crossover*.

Tabel 1
Penentuan *Crossover* Produk Tangki Air Kecil

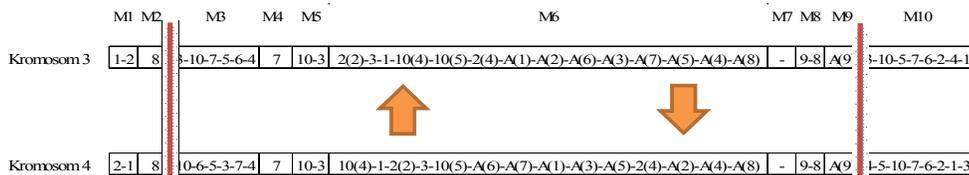
| No | Kromosom | | | | | | | | | | Bilangan random | Pasangan |
|----|----------|---|--------------|---|------|---|---|-----|------|------------------|-----------------|----------|
| 1 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | 0.0391 | 1 |
| 2 | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 | 0.5766 | 2 |
| 3 | 1-2 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 0.6522 | 3 |
| 4 | 2-1 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 | 0.8982 | 4 |

Berdasarkan Tabel 1 diketahui ada 4 kromosom yang dapat mengalami proses *crossover* karena bilangan random yang muncul $< P_c$ (0.95). Kromosom 1 sebagai pasangan 1, kromosom 2 sebagai pasangan 2, kromosom 3 sebagai pasangan 3 dan kromosom 4 sebagai pasangan 4.

Tabel 2
Penentuan *Crossing site* Produk Tangki Air Kecil

| No | Kromosom | | | | | | | | | | Crossing Site |
|----|----------|---|--------------|---|------|---|---|-----|------|------------------|---------------|
| 1 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | 5 dan 8 |
| 2 | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 | |
| 3 | 1-2 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 3 dan 9 |
| 4 | 2-1 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 | |

Kromosom 5 dan 6 mengalami *crossing site* 3 dan 9 yang artinya pada mesin 3 sampai dengan mesin 9 akan mengalami pertukaran antara kromosom 3 dan 4 dan menghasilkan 2 anak baru seperti keterangan Gambar 4



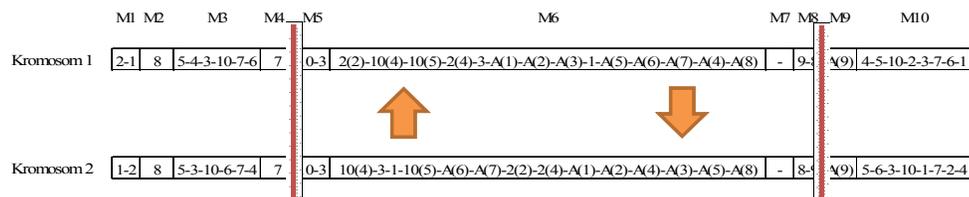
Gambar 4
Crossing site kromosom 3 dan 4

Garis yang berwarna merah merupakan suatu batasan dimana proses *crossover* akan dilakukan, dan tanda panah merupakan suatu tanda dilakukannya pertukaran sepanjang batasan merah yang diberikan.

Tabel 3
Hasil *Crossing Site* Kromosom 3 dan 4

| | MI | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|--------------|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| Off spring 1 | 1-2 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 |
| Off spring 2 | 2-1 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 |

Proses *crossover* yang ke-2 adalah pasangan kromosom 1 dan 2 yang mengalami *crossing site* 5 dan 8 yang artinya pada mesin 5 sampai dengan mesin 8 akan mengalami pertukaran antara kromosom 1 dan 2 dan menghasilkan 2 anak baru seperti keterangan Gambar 5



Gambar 5
Crossing site kromosom 1 dan 2

Garis yang berwarna merah merupakan suatu batasan dimana proses *crossover* akan dilakukan, dan tanda panah merupakan suatu tanda dilakukannya pertukaran sepanjang batasan merah yang diberikan.

Tabel 4
Hasil *Crossing Site* Kromosom 1 dan 2

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|--------------------|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| <i>Offspring 3</i> | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 |
| <i>Offspring 4</i> | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 |

Tabel 5
Rangkuman hasil *crossover*

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 |
|--------------------|-----|----|--------------|----|------|---|----|-----|------|------------------|
| <i>Offspring 1</i> | 1-2 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 |
| <i>Offspring 2</i> | 2-1 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 |
| <i>Offspring 3</i> | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 |
| <i>Offspring 4</i> | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 |

Hasil dari *crossover* berupa 4 anak baru di atas akan dilakukan proses *decoding* kembali untuk mendapatkan nilai *makespan* dari masing-masing kromosom.

5. Mutasi

Tahapan mutasi ini digunakan metode *order based mutation* dimana kromosom yang akan mengalami mutasi adalah kromosom awal dan kromosom *offspring* hasil *crossover*. Yang pertama dilakukan adalah membangkitkan bilangan random antara 0 sampai dengan 1 untuk setiap operasi dari 7 kromosom. Jika nilai bilangan random < 0.05 maka akan mengalami mutasi.

Tabel 6
Probabilitas Mutasi

| | M1 | | M2 | | M3 | | | | | | M4 | M5 | |
|------------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kromosom 1 | 1 | 2 | 8 | | 10 | 6 | 5 | 3 | 7 | 4 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.46 | 0.74 | 0.16 | | 0.65 | 0.53 | 0.27 | 0.95 | 0.91 | 0.47 | 0.40 | 0.35 | 0.55 |
| Kromosom 2 | 1 | 2 | 8 | | 10 | 6 | 5 | 3 | 7 | 4 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.51 | 0.86 | 0.84 | | 0.81 | 0.88 | 0.23 | 0.90 | 0.19 | 0.66 | 0.58 | 0.75 | 0.46 |
| Kromosom 3 | 2 | 1 | 8 | | 3 | 10 | 7 | 5 | 6 | 4 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.66 | 0.64 | 0.55 | | 0.48 | 0.22 | 0.93 | 0.09 | 0.67 | 0.63 | 0.78 | 0.96 | 0.66 |
| Kromosom 4 | 2 | 1 | 8 | | 5 | 4 | 3 | 10 | 7 | 6 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.31 | 0.29 | 0.10 | | 0.82 | 0.80 | 0.67 | 0.60 | 0.89 | 0.38 | 0.76 | 0.57 | 0.51 |
| Kromosom 5 | 1 | 2 | 8 | | 10 | 6 | 5 | 3 | 7 | 4 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.62 | 0.11 | 0.56 | | 0.02 | 0.21 | 0.13 | 0.25 | 0.36 | 0.79 | 0.72 | 0.32 | 0.18 |
| Kromosom 6 | 2 | 1 | 8 | | 3 | 10 | 7 | 5 | 6 | 4 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.40 | 0.54 | 0.51 | | 0.52 | 0.20 | 0.60 | 0.25 | 0.98 | 0.37 | 0.46 | 0.70 | 0.36 |
| Kromosom 7 | 2 | 1 | 8 | | 5 | 4 | 3 | 10 | 7 | 6 | 7 | 10 | 3 |
| | 0.29 | 0.61 | 0.48 | | 0.4 | 0.57 | 0.28 | 0.4 | 0.47 | 0.44 | 0.38 | 0.5 | 0.89 |

Tabel 6
Probabilitas Mutasi (Lanjutan)

| | M6 | | | | | | | | | | | | | M8 | | M9 | M10 | | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kromosom 1 | 10(4) | 1 | 2(2) | 3 | 10(5) | A(6) | A(7) | A(1) | A(3) | A(5) | 2(4) | A(2) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 3 | 10 | 5 | 7 | 6 | 2 | 4 | 1 |
| | 0.84 | 0.83 | 0.19 | 0.74 | 0.68 | 0.13 | 0.30 | 0.24 | 0.85 | 0.95 | 0.45 | 0.15 | 0.62 | 0.68 | 0.77 | 0.57 | 0.60 | 0.69 | 0.17 | 0.38 | 0.05 | 0.18 | 0.38 | 1.00 | 0.23 |
| Kromosom 2 | 10(4) | 1 | 2(2) | 3 | 10(5) | A(6) | A(7) | A(1) | A(3) | A(5) | 2(4) | A(2) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 3 | 10 | 5 | 7 | 6 | 2 | 4 | 1 |
| | 0.98 | 0.86 | 0.77 | 0.26 | 0.58 | 0.74 | 0.74 | 0.29 | 0.53 | 0.73 | 0.14 | 0.46 | 0.11 | 0.59 | 0.15 | 0.29 | 0.30 | 0.77 | 0.10 | 0.30 | 0.37 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.84 |
| Kromosom 3 | 2(2) | 3 | 1 | 10(4) | 10(5) | 2(4) | A(1) | A(2) | A(6) | A(3) | A(7) | A(5) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 7 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| | 0.56 | 0.52 | 0.05 | 0.47 | 0.25 | 0.21 | 0.18 | 0.13 | 0.11 | 0.22 | 0.17 | 0.56 | 0.23 | 0.99 | 0.96 | 0.96 | 0.76 | 0.93 | 0.86 | 0.48 | 0.63 | 0.15 | 0.98 | 0.08 | 0.48 |
| Kromosom 4 | 10(4) | 3 | 1 | 10(5) | A(6) | A(7) | 2(2) | 2(4) | A(1) | A(2) | A(4) | A(3) | A(5) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 2 | 3 | 7 | 6 | 1 |
| | 0.08 | 0.10 | 0.56 | 0.12 | 0.67 | 0.24 | 0.95 | 0.75 | 0.49 | 0.27 | 0.65 | 0.88 | 0.84 | 0.36 | 0.26 | 0.12 | 0.09 | 0.53 | 0.83 | 0.54 | 0.96 | 0.71 | 0.87 | 0.12 | 0.21 |
| Kromosom 5 | 10(4) | 1 | 2(2) | 3 | 10(5) | A(6) | A(7) | A(1) | A(3) | A(5) | 2(4) | A(2) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 3 | 10 | 5 | 7 | 6 | 2 | 4 | 1 |
| | 0.03 | 0.69 | 0.09 | 0.54 | 0.31 | 0.93 | 0.46 | 0.09 | 0.16 | 0.15 | 0.06 | 0.87 | 0.16 | 0.12 | 0.77 | 0.21 | 0.53 | 0.22 | 0.99 | 0.31 | 0.76 | 0.49 | 0.19 | 0.10 | 0.07 |
| Kromosom 6 | 2(2) | 3 | 1 | 10(4) | 10(5) | 2(4) | A(1) | A(2) | A(6) | A(3) | A(7) | A(5) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 7 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| | 0.61 | 0.86 | 0.52 | 0.84 | 0.51 | 0.02 | 0.13 | 0.92 | 0.56 | 0.28 | 0.11 | 0.54 | 0.45 | 0.85 | 0.12 | 0.64 | 0.66 | 0.24 | 0.11 | 0.94 | 0.72 | 0.04 | 0.61 | 0.64 | 0.79 |
| Kromosom 7 | 10(4) | 3 | 1 | 10(5) | A(6) | A(7) | 2(2) | 2(4) | A(1) | A(2) | A(4) | A(3) | A(5) | A(8) | 8 | 9 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 2 | 3 | 7 | 6 | 1 |
| | 0.04 | 0.3 | 0.3 | 0.44 | 0.81 | 0.06 | 0.39 | 0.71 | 0.75 | 0.56 | 0.92 | 0.26 | 0.62 | 0.02 | 0.6 | 0.37 | 0.04 | 0.49 | 0.15 | 0.92 | 0.40 | 0.65 | 0.36 | 0.33 | 0.97 |

Dari tabel pemilihan di atas, maka diketahui bahwa bagian yang dipertebal akan mengalami mutasi dengan adanya pertukaran ke sebelah kanan dalam area satu mesin dengan adanya syarat-syarat yaitu :

1. Selama pertukaran yang dilakukan tidak melanggar nomor operasi dari tiap mesin
2. Jika dalam 1 kromosom terdapat 2 mutasi, namun salah satu tidak dapat memenuhi persyaratan maka mutasi akan tetap dilakukan pada salah satu mutasi yang sesuai dengan syarat.

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan bilangan random untuk masing-masing operasi di setiap mesin seperti contoh di bawah ini :

- Mesin 1



1 pada mesin 1 menunjukkan operasi 1 pada mesin 1 dengan bilangan random $0.46 > P_m (0.05)$ sehingga tidak akan mengalami mutasi.

2 pada mesin 1 menunjukkan operasi 2 pada mesin 1 dengan bilangan random $0.74 > P_m (0.05)$ sehingga tidak akan mengalami mutasi.

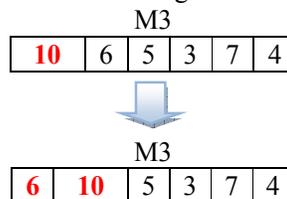
- Mesin 3

M3

| | | | | | | |
|----------|-------------|------|------|------|------|------|
| Kromosom | 10 | 6 | 5 | 3 | 7 | 4 |
| 5 | 0.02 | 0.21 | 0.13 | 0.25 | 0.36 | 0.79 |

10 pada mesin 3 menunjukkan operasi 10 pada mesin 3 dengan bilangan random $0.02 < P_m (0.05)$ sehingga akan mengalami mutasi dengan operasi di sebelah kanan nya.

Mutasi pada operasi 10 tersebut akan dilakukan dengan cara :



Operasi 10 pada mesin 3 tersebut ditukar dengan operasi 6 pada mesin 3 sehingga urutan penjadwalan pada mesin 3 adalah sebagai berikut : 6-10-5-3-7-4

Berdasarkan perhitungan mutasi, diperoleh hasil mutasi yang dapat dilakukan adalah pada kromosom 5, 6, dan 7. 3 kromosom tersebut menghasilkan penjadwalan sebagai berikut :

Tabel 7

Hasil Mutasi

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
|---------------------|-----|----|--------------|----|------|
| <i>Off spring 5</i> | 1 2 | 8 | 6 10 5 3 7 4 | 7 | 10 3 |
| <i>Off spring 6</i> | 2 1 | 8 | 3 10 7 5 6 4 | 7 | 10 3 |
| <i>Off spring 7</i> | 2 1 | 8 | 5 4 3 10 7 6 | 7 | 10 3 |

Tabel 7

Hasil Mutasi (Lanjutan)

| | M6 | | | | | | | | | | M8 | M9 | M10 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|------|---|----|----|---|---|---|---|---|
| <i>Off spring 5</i> | 1 | 10(4) | 2(2) | 3 | 10(5) | A(6) | A(7) | A(1) | A(3) | A(5) | 2(4) | A(2) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 3 | 10 | 5 | 7 | 6 | 2 | 4 | 1 |
| <i>Off spring 6</i> | 2(2) | 3 | 1 | 10(4) | 10(5) | A(1) | 2(4) | A(2) | A(6) | A(3) | A(7) | A(5) | A(4) | A(8) | 9 | 8 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 7 | 2 | 6 | 1 | 3 |
| <i>Off spring 7</i> | A(8) | 10(4) | 1 | 10(5) | A(6) | A(7) | 2(2) | 2(4) | A(1) | A(2) | A(4) | A(3) | A(5) | 3 | 8 | 9 | A(9) | 4 | 5 | 10 | 2 | 3 | 7 | 6 | 1 |

Keterangan :

Offspring 5 merupakan hasil mutasi dari kromosom 5 (*Offspring 1*)

Offspring 6 merupakan hasil mutasi dari kromosom 6 (*Offspring 2*)

Offspring 7 merupakan hasil mutasi dari kromosom 7 (*Offspring 3*)

Tabel 8
Rangkuman *Makespan* Hasil Mutasi

| No | Kromosom | | | | | | | | | | <i>Makespan</i> (Cmks) | Nilai <i>Fitness</i> |
|------|----------|---|--------------|---|------|---|---|-----|------|------------------|------------------------|----------------------|
| off5 | 1-2 | 8 | 6-10-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 1-10(4)-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 212.50 | 0.0047 |
| off6 | 2-1 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-A(1)-2(4)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-2-6-1-3 | 237.50 | 0.0042 |
| off7 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | A(8)-10(4)-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-3 | - | 8-9 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | - | - |

6. Seleksi

Pada langkah 6 ini akan dilakukan seleksi 4 kromosom dari 11 kromosom untuk dilakukan perhitungan generasi berikutnya, dimana nilai *makespan* dari 11 kromosom tersebut dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9
Rangkuman Nilai *Makespan* 11 Kromosom

| No | Kromosom | | | | | | | | | | <i>Makespan</i> (Cmks) | Nilai <i>Fitness</i> |
|------|----------|---|--------------|---|------|---|---|-----|------|------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | 215.50 | 0.0046 |
| 2 | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 | 237.00 | 0.0042 |
| 3 | 1-2 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 252.00 | 0.0040 |
| 4 | 2-1 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 | 204.50 | 0.0049 |
| off1 | 1-2 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 202.50 | 0.0049 |
| off2 | 2-1 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-2(4)-A(1)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 | 237.50 | 0.0042 |
| off3 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 10(4)-3-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-A(8) | - | 8-9 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | 280.50 | 0.0036 |
| off4 | 1-2 | 8 | 5-3-10-6-7-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 5-6-3-10-1-7-2-4 | - | - |
| off5 | 1-2 | 8 | 6-10-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 1-10(4)-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 212.50 | 0.0047 |
| off6 | 2-1 | 8 | 3-10-7-5-6-4 | 7 | 10-3 | 2(2)-3-1-10(4)-10(5)-A(1)-2(4)-A(2)-A(6)-A(3)-A(7)-A(5)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-2-6-1-3 | 237.50 | 0.0042 |
| off7 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | A(8)-10(4)-1-10(5)-A(6)-A(7)-2(2)-2(4)-A(1)-A(2)-A(4)-A(3)-A(5)-3 | - | 8-9 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | - | - |

Nilai *makespan* yang paling kecil adalah kromosom hasil *crossover* ke-1 yaitu kromosom 5 (*offspring* 1) dengan nilai sebesar 202.5 menit

Pemilihan 4 kromosom dengan *makespan* terkecil atau nilai *fitness* terbesar yang dapat digunakan sebagai kromosom awal pada generasi 2 adalah sebagai berikut :

Tabel 10
Rangkuman 4 Kromosom dengan *Makespan* Terkecil Produk Tangki Air Kecil

| No | Kromosom | | | | | | | | | | <i>Makespan</i> (Cmks) | Nilai <i>Fitness</i> |
|------|----------|---|--------------|---|------|---|---|-----|------|------------------|------------------------|----------------------|
| off1 | 1-2 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 202.50 | 0.0049 |
| 4 | 2-1 | 8 | 10-6-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 10(4)-1-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-7-6-2-1-3 | 204.50 | 0.0049 |
| off5 | 1-2 | 8 | 6-10-5-3-7-4 | 7 | 10-3 | 1-10(4)-2(2)-3-10(5)-A(6)-A(7)-A(1)-A(3)-A(5)-2(4)-A(2)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 3-10-5-7-6-2-4-1 | 212.50 | 0.0047 |
| 1 | 2-1 | 8 | 5-4-3-10-7-6 | 7 | 10-3 | 2(2)-10(4)-10(5)-2(4)-3-A(1)-A(2)-A(3)-1-A(5)-A(6)-A(7)-A(4)-A(8) | - | 9-8 | A(9) | 4-5-10-2-3-7-6-1 | 215.50 | 0.0046 |

8.2 Penjadwalan Metode Perusahaan

Penjadwalan yang dilakukan oleh perusahaan saat ini adalah dengan melakukan pengelompokan kerja yang dapat diselesaikan dalam waktu yang bersamaan dan berdasarkan urutan pekerjaan pada peta proses operasi yang dikelompokkan menjadi beberapa bagian. Misalnya bagian 1 merupakan urutan operasi-operasi pertama pada masing-masing *job*.

Berdasarkan penggolongan tersebut maka penjadwalan dibuat dengan menggunakan *gantchart* dengan *makespan* sebesar 1918 menit.

8.3 Penjadwalan Metode Aktif

Aturan yang digunakan dalam pengerjaan metode aktif ini adalah :

1. SPT (melihat dari r terkecil)
2. MWKR (melihat dari t terkecil)
3. *Random*

Pemilihan *job* boleh dijadwal jika $C_j < r^*$

Penjadwalan dengan menggunakan metode aktif diperoleh *makespan* sebesar 1826 menit.

8.4 Rangkuman 3 Metode

Dari perhitungan 3 metode di atas, diketahui *makespan* untuk masing-masing yaitu :

Tabel 11
Rangkuman *Makespan* 3 Metode

| Makespan (menit) | | |
|------------------|-------|----------|
| Aktual | Aktif | Genetika |
| 1918 | 1826 | 1818 |

Berdasarkan Tabel 11, metode genetika sebagai metode penjadwalan yang terbaik karena menghasilkan nilai *makespan* yang paling kecil jika dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Hal ini disebabkan karena metode genetika memiliki kelebihan dengan adanya bilangan *random* yang menyebabkan adanya variasi kromosom awal sebagai induk yang nantinya akan menghasilkan nilai *makespan* terkecil.

Metode aktif lebih baik jika dibandingkan dengan metode aktual dari perusahaan. Hal ini disebabkan karena perusahaan hanya melihat prioritas pembuatan dari produk tangki air, sedangkan pada metode aktif digunakan beberapa urutan yaitu SPT (waktu proses terkecil), MWKR (pekerjaan yang selesai terlebih dahulu).

Metode genetika lebih baik jika dibandingkan dengan metode aktual karena pada metode genetika ini dibangkitkan bilangan *random* yang fungsinya untuk mendapatkan variasi populasi sebagai kromosom induk dan variasi hasil hasil pertukaran yang dilakukan pada *crossover* serta kromosom anak pada lintas kromosom yaitu mutasi.

Metode genetika lebih baik jika dibandingkan dengan metode aktif. Hal ini dikarenakan pengurutan penjadwalan yang dilakukan metode aktif hanya berdasarkan pada 3 aturan, yaitu waktu proses terkecil, pekerjaan yang dapat terselesaikan dahulu, dan yang terakhir adalah pemilihan secara *random*. 3 aturan ini menyebabkan penjadwalan dengan metode ini hanya bergantung pada urutan *routing* awal kemudian dijadwalkan, sedangkan dalam metode genetika, pemilihan urutan *job* yang akan dijadwalkan berdasarkan bantuan bilangan *random* dengan syarat bahwa penjadwalan yang dilakukan sesuai (sesuai dalam arti tidak melanggar urutan pekerjaan yang sebenarnya).

8.5 Analisis Perbandingan *Delay* Penjadwalan Aktual Perusahaan, Penjadwalan Metode Aktif dan Metode Genetika

Tabel 12
Perbandingan *Delay* 3 Metode

| Mesin | Waktu (menit) | | | Selisih | | | | | |
|---------------|---------------|-------|----------|-----------------|---------|--------------------|---------|-------------------|---------|
| | Aktual | Aktif | Genetika | Aktual Vs Aktif | | Aktual Vs Genetika | | Aktif Vs Genetika | |
| | | | | (%) | Selisih | (%) | Selisih | (%) | Selisih |
| M1 | 1883 | 1791 | 1783 | 5.39 | 102 | 5.81 | 110 | 0.45 | 8 |
| M2 | 1768 | 1559 | 1668 | 8.32 | 152 | 8.75 | 160 | 0.48 | 8 |
| M3 | 1806 | 1690 | 1706 | 5.20 | 94 | 5.64 | 102 | 0.47 | 8 |
| M4 | 1910 | 1841 | 1810 | 4.82 | 92 | 5.24 | 100 | 0.44 | 8 |
| M5 | 1738 | 1646 | 1643 | 5.29 | 92 | 5.75 | 100 | 0.49 | 8 |
| M6 | 529 | 445 | 434 | 21.96 | 123 | 22.50 | 126 | 0.69 | 3 |
| M7 | 1678 | 1406 | 1578 | 3.76 | 62 | 4.25 | 70 | 0.50 | 8 |
| M8 | 1618 | 1496 | 1518 | 5.69 | 92 | 6.18 | 100 | 0.52 | 8 |
| M9 | 1498 | 1406 | 1398 | 8.58 | 132 | 9.10 | 140 | 0.57 | 8 |
| M10 | 1771 | 1679 | 1671 | 5.19 | 92 | 5.65 | 100 | 0.48 | 8 |
| Total | 16312 | 15279 | 15204 | Total | 1033 | Total | 1108 | Total | 75 |
| rata-rata (%) | 85.05 | 83.67 | 83.63 | | | | | | |
| Utilisasi (%) | 14.95 | 16.33 | 16.37 | | | | | | |

- Rata-rata Aktual (%) = $\frac{\text{total}}{10 \times \text{makespan}} * 100\% = \frac{16312}{10 \times 1918} * 100\% = 85.05\%$
- Selisih (Aktual Vs Aktif) 102 artinya *delay* pada metode aktif menurun sebesar 102 menit dengan persentase sebesar 5.39% dari metode aktual perusahaan pada mesin ke-1.
- Selisih (Aktual Vs Genetika) 110 artinya *delay* pada metode genetika menurun sebesar 110 menit dengan persentase sebesar 5.81% dari metode aktual perusahaan pada mesin ke-1.

- Selisih (Aktif Vs Genetika) 8 artinya *delay* pada metode genetika menurun sebesar 8 menit dengan persentase sebesar 0.45% dari metode aktif pada mesin ke-1.
Secara keseluruhan rata-rata *delay* yang dihasilkan oleh metode genetika lebih kecil jika dibandingkan dengan 2 metode lain dengan nilai sebesar 15204 menit (83.63%).

8.6 Analisis Perbandingan Utilisasi Mesin Penjadwalan Aktual Perusahaan, Penjadwalan Metode Aktif dan Metode Genetika

Tabel 13
Perbandingan Utilisasi 3 Metode

| Mesin | Waktu (menit) | | |
|---------------|---------------|-------|----------|
| | Aktual | Aktif | Genetika |
| Utilisasi (%) | 14.95 | 16.33 | 16.37 |

Utilisasi Aktual (%) = $100 - 85.05\% = 14.95\%$

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa metode genetika merupakan suatu metode yang memiliki utilisasi paling besar jika dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Pada Tabel 13 akan dilihat selisih utilisasi dari ketiga metode yang digunakan.

Tabel 14
Perbandingan Selisih Utilisasi

| Selisih | | | | | |
|-----------------|------|-------------------|------|------------------|------|
| Aktual Vs Aktif | | Aktual Vs Genetik | | Aktif Vs Genetik | |
| 1.38 | | 1.42 | | 0.04 | |
| % | 9.23 | % | 9.49 | % | 0.24 |

- Aktual Vs Aktif sebesar 1.38 artinya selisih utilisasi antara aktual dan aktif adalah sebesar 1.38%.
- Aktual Vs Aktif sebesar 9.23 artinya terjadi peningkatan utilisasi pada metode aktif sebesar 9.23% jika dibandingkan metode aktual perusahaan.
- Aktual Vs Genetika sebesar 9.49 artinya terjadi peningkatan utilisasi pada metode genetika sebesar 9.49 % jika dibandingkan metode aktual perusahaan.
- Aktif Vs Genetika sebesar 0.24 artinya terjadi peningkatan utilisasi pada metode genetika sebesar 0.24% jika dibandingkan metode aktif.

Berdasarkan perhitungan *makespan*, utilisasi, dan *delay* maka diperoleh hasil rangkuman yang dapat dilihat pada Tabel 15 di bawah ini :

Tabel 15
Rangkuman hasil *makespan*, utilisasi, dan *delay* 3 metode

| | <i>Makespan</i> (menit) | <i>Delay</i> | | Utilisasi (%) |
|----------|----------------------------|--------------|-------|------------------|
| | | (menit) | (%) | |
| Aktual | 1918 | 16312 | 85.05 | 14.95 |
| Aktif | 1826 | 15279 | 83.67 | 16.33 |
| Genetika | 1818 | 15204 | 83.63 | 16.37 |

Berdasarkan pada Tabel 15, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *makespan* pada metode aktif dan genetika. Penurunan *makespan* ini menyebabkan metode genetika menjadi suatu metode yang lebih baik dengan nilai *makespan* terkecil. Penurunan *makespan* ini menyebabkan penurunan *delay* dan kenaikan utilisasi mesin. Hal ini disebabkan karena metode genetika ini dibangkitkan bilangan random yang fungsinya untuk mendapatkan variasi populasi sebagai kromosom induk dan variasi hasil hasil pertukaran yang dilakukan pada *crossover* serta kromosom anak pada lintas kromosom yaitu mutasi.

8.7 Analisis Variasi Nilai Parameter Metode Genetika

Secara keseluruhan maka kita dapat memberikan usulan parameter yang paling optimal adalah dengan menggunakan populasi sebesar 20, pengulangan generasi sebesar 7, probabilitas *crossover* (Pc) 0.90 dan probabilitas mutasi sebesar 0.05.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Marek Obitko di Czech Technical University (CTU) yang mengatakan bahwa Pc yang sebaiknya digunakan adalah sebesar 0.80 sampai dengan 0.95, sedangkan probabilitas mutasinya adalah 0.05 sampai dengan 0.1.

Pada perhitungan tangki air menggunakan metode genetika, parameter yang digunakan untuk mencapai hasil terbaik adalah populasi 250, generasi 50, Pc 0.95 dan Pm 0.01. Hal ini tidak sesuai dengan parameter yang diusulkan karena pada kenyataannya tingkat kerumitan suatu produk mempengaruhi kinerja dari metode genetika.

Nilai Probabilitas Mutasi maupun Probabilitas *Crossover* yang didapatkan telah sesuai penelitian yang dilakukan oleh Obitko, sehingga yang membantu memperkecil nilai *makespan* adalah besarnya populasi dan generasi. Berdasarkan analisis parameter yang dilakukan, penulis dapat mengusulkan parameter dengan populasi 20, generasi 7, Pc 0.90, dan Pm 0.05. Usulan ini diberikan guna memberikan gambaran pada perusahaan ketika menggunakan *software*. Nilai populasi dan generasi yang diusulkan tidak dapat digunakan untuk semua kasus karena tingkat kerumitan yang berbeda-beda pada setiap produk, namun nilai Pc dan Pm yang diusulkan dapat digunakan untuk perusahaan.

8.8 Manfaat Usulan Metode Terbaik

Tabel 5.16

Rangkuman Perbandingan Metode Genetika dan Aktual Perusahaan

| | <i>Makespan</i> (menit) | <i>Delay</i> (menit) | Utilisasi (%) |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|------------------|
| Aktual | 1918 | 16312 | 14.95 |
| Genetika | 1818 | 15204 | 16.37 |
| Selisih | 100 | 1108 | 1.42 |
| Penghematan (%) | 5.21 | 6.79 | 9.50 |

Dengan menggunakan metode genetika ini, perusahaan dapat menyelesaikan produknya dengan waktu yang lebih singkat. *Makespan* tangki air ini menurun sebesar 5.21% yaitu dari 1918 menit menjadi 1818 menit. Seiring dengan menurunnya nilai *makespan* ini maka utilisasi mesin juga meningkat sebesar 9.50% dan terjadinya penurunan *delay* pada sepuluh mesin yang digunakan sebesar 1108 menit (6.79%) dari metode aktual perusahaan yang digunakan saat ini.

Metode genetika ini memberikan suatu urutan *job* dengan optimal dalam waktu yang lebih singkat (menggunakan *software*), *makespan* dan besarnya *delay* yang lebih kecil. Selain itu, perusahaan tidak perlu repot untuk memikirkan urutan pekerjaan yang sekiranya harus dikerjakan lebih dahulu.

Secara keseluruhan, kelebihan dari metode genetika dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17

Perbandingan 3 Metode

| | Waktu | Solusi | Tingkat kesulitan |
|----------|---|---------------------------|--|
| Aktual | Lama | Jauh dari optimal | Sulit |
| Aktif | Lama | Sedikit mendekati optimal | Membutuhkan <i>skill</i> |
| Genetika | Lama, namun dengan adanya <i>software</i> menjadi cepat | Mendekati optimal | Sulit, namun dengan adanya <i>software</i> menjadi lebih mudah |

Berdasarkan Tabel 17 tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan metode genetika akan lebih bermanfaat bagi perusahaan bukan hanya dilihat dari kenaikan tingkat utilisasi dan menurunnya *delay* melainkan tingkat kesulitan dalam penerapan metode ini cenderung lebih mudah untuk dipahami.

8.9 Analisis Metode Genetika

Pada penggunaan metode genetika ini diperoleh peningkatan utilisasi jika dibandingkan dengan metode lainnya. Namun, peningkatan tersebut relatif tidak terlalu besar yang dapat dilihat pada Tabel 16

Peningkatan utilisasi antara 3 metode yang dihasilkan tidak signifikan, sehingga akan dilakukan analisis penyebab-penyebab hal tersebut yang antara lain adalah :

a. Kurang seimbangnya jumlah mesin yang digunakan

Kecilnya peningkatan yang terjadi dapat disebabkan oleh kurang optimalnya jumlah mesin pada bagian-bagian yang mengalami *bottle neck* yaitu mesin las dan mesin cat.

Pada awalnya akan dilakukan perhitungan dengan melakukan perubahan jumlah mesin las secara bertahap yaitu dengan menggunakan 3 mesin, 4 mesin dan 5 mesin pada Tabel 5.96

Tabel 18
Hasil Penambahan Mesin Las

| | 3 mesin las | | 4 mesin las | | 5 mesin las | |
|----------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| | | Δ | | Δ | | Δ |
| Makespan | 1473 | 445.00 | 1237 | 681.00 | 1089.6 | 828.40 |
| Rata-rata <i>delay</i> (%) | 82.93 | 2.12 | 80.80 | 4.25 | 80.31 | 4.74 |
| Utilisasi | 17.07 | 0.70 | 19.20 | 4.25 | 19.69 | 4.74 |
| Penghematan Utilisasi | 4.28 % | | 25.96 % | | 29 % | |

Berdasarkan Tabel 18 perbedaan utilisasi yang dihasilkan juga kecil, sehingga pada tahap berikutnya akan dilakukan perhitungan dengan melakukan perubahan mesin las dan mesin cat secara bertahap seperti Tabel 19

Tabel 19
Hasil Penambahan Mesin Las dan Cat

| | 3 mesin las + 3 cat | | 4 mesin las + 4 cat | | 5 mesin las + 5 cat | |
|----------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | | Δ | | Δ | | Δ |
| <i>Makespan</i> | 1329.34 | 588.66 | 1034.50 | 883.50 | 863.60 | 1054.40 |
| Rata-rata <i>delay</i> (%) | 82.14 | 2.91 | 79.95 | 5.10 | 78.02 | 7.03 |
| Utilisasi (%) | 17.86 | 2.91 | 79.95 | 5.10 | 21.98 | 7.03 |
| Penghematan Utilisasi | 17.78 % | | 31.15 % | | 42.94 % | |

Berdasarkan Tabel 19 hasil yang diperoleh dapat meningkatkan utilisasi sampai dengan 42.94%. Persentase yang kecil ini dapat melakukan penghematan *makespan* sebesar 57.99% yaitu sebesar 1054.40 menit. Hal ini membuktikan bahwa jumlah mesin menentukan lamanya proses perakitan yang berdampak pada utilisasi mesin.

Tentunya dengan menggunakan jumlah mesin yang optimal perusahaan dapat menghemat waktu produksi. Namun, jumlah mesin optimal yang dibutuhkan untuk tiap produk dapat berbeda tergantung jenis produk yang dipesan oleh konsumen. Oleh karena itu, perhitungan jumlah mesin optimal ini tidak dapat diusulkan untuk perusahaan Megah Steel yang bergerak di bidang *job order*.

b. Kurang meratanya beban kerja pada setiap mesin

Beban kerja yang dialami oleh masing-masing mesin berbeda satu sama lainnya yang mengakibatkan perbedaan utilisasi pada setiap mesin. Jika teori ini diterapkan pada kasus yang dialami perusahaan, maka akan menyebabkan utilisasi setiap mesin lebih kecil jika dibandingkan dengan *makespan* keseluruhan yang cukup besar.

Perhitungan akan beban kerja tersebut dapat dilihat pada Tabel 20

Tabel 20
Perhitungan Beban Kerja

| Mesin | Waktu Proses | Beban Kerja (%) |
|----------|-----------------|-----------------|
| Mesin 1 | 35 | 2.52 |
| Mesin 2 | 150 | 10.80 |
| Mesin 3 | 112 | 8.06 |
| Mesin 4 | 8 | 0.58 |
| Mesin 5 | 175 | 12.60 |
| Mesin 6 | 1389 | 100.00 |
| Mesin 7 | 240 | 17.28 |
| Mesin 8 | 300 | 21.60 |
| Mesin 9 | 420 | 30.24 |
| Mesin 10 | 147 | 10.58 |
| | Standar Deviasi | 28.96 |

Contoh perhitungan (mesin 1) :

$$\text{Beban Kerja} = \frac{\text{waktu proses tiap mesin}}{\text{waktu proses terbesar}} * 100\% = \frac{35}{1389} * 100\% = 2.52\%$$

Standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 28.96, yang dapat disimpulkan adanya perbedaan beban kerja yang cukup signifikan pada masing-masing mesin.

Rangkuman perhitungan metode perusahaan dan genetika secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 21

Tabel 21
Rangkuman Penjadwalan 2 Metode

| | Makespan | | | | Rata-rata (%) | | | | Utilisasi (%) | | | |
|---------|----------|--------|----------|-------|---------------|--------|----------|-------|---------------|--------|----------|-------|
| | Genetika | Aktual | Δ | (%) | Genetika | Aktual | Δ | (%) | Genetika | Aktual | Δ | (%) |
| Kasus 1 | 47.00 | 88.00 | 41.00 | 46.59 | 58.09 | 75.57 | 17.48 | 23.14 | 41.91 | 24.43 | 17.48 | 41.71 |
| Kasus 2 | 48.50 | 84.00 | 35.50 | 42.26 | 58.45 | 73.33 | 14.88 | 20.29 | 41.55 | 26.67 | 14.88 | 35.81 |
| Kasus 3 | 48.00 | 91.00 | 43.00 | 47.25 | 56.98 | 74.29 | 17.31 | 23.30 | 43.02 | 25.71 | 17.31 | 40.23 |
| Kasus 4 | 38.00 | 67.00 | 29.00 | 43.28 | 41.58 | 71.79 | 30.21 | 42.08 | 58.42 | 28.21 | 30.21 | 51.71 |
| Kasus 5 | 65.50 | 124.00 | 58.50 | 47.18 | 65.27 | 77.74 | 12.47 | 16.04 | 34.73 | 22.26 | 12.47 | 35.91 |

Berdasarkan tabel rangkuman 2 metode tersebut, diperoleh hasil bahwa penggunaan metode genetika dapat meningkatkan utilisasi mesin. Besarnya selisih utilisasi dipengaruhi oleh tingkat kerumitan perakitan pada setiap kasus. Hal ini dibuktikan pada kasus 4 dan kasus 5. Kasus 4 dengan proses perakitan yang sederhana dapat diperoleh peningkatan utilisasi sampai dengan 52%, sedangkan kasus 5 yang proses perakitannya rumit menyebabkan peningkatan utilisasi yang paling kecil dari 5 kasus tersebut.

Tingkat kerumitan proses perakitan mempengaruhi besarnya utilisasi dikarenakan oleh mesin-mesin tetap harus menunggu perakitan selesai, sehingga semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk perakitan, maka utilisasi mesin akan semakin kecil. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan pada Tabel 22

Tabel 22
Perhitungan Beban Kerja 5 Kasus

| Kasus 1 | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-------------|-------------|
| | Mesin 1 | Mesin 2 | Mesin 3 | Mesin 4 | Mesin 5 | Mesin 6 | Mesin 7 | Mesin 8 | Mesin 9 | Mesin 10 | Standar Dev | % Utilisasi |
| Waktu Proses | 27 | 24 | 18 | 18 | 33 | 27 | 18 | 29 | 9 | 12 | | |
| Beban Kerja | 81.82 | 72.73 | 54.55 | 54.55 | 100.00 | 81.82 | 54.55 | 87.88 | 27.27 | 36.36 | 23.44 | 41.91 |
| Kasus 2 | | | | | | | | | | | | |
| | Mesin 1 | Mesin 2 | Mesin 3 | Mesin 4 | Mesin 5 | Mesin 6 | Mesin 7 | Mesin 8 | Mesin 9 | Mesin 10 | Standar Dev | % Utilisasi |
| Waktu Proses | 27 | 24 | 18 | 18 | 33 | 36 | 18 | 29 | 9 | 12 | | |
| Beban Kerja | 75.00 | 66.67 | 50.00 | 50.00 | 91.67 | 100.00 | 50.00 | 80.56 | 25.00 | 33.33 | 24.68 | 41.55 |
| Kasus 3 | | | | | | | | | | | | |
| | Mesin 1 | Mesin 2 | Mesin 3 | Mesin 4 | Mesin 5 | Mesin 6 | Mesin 7 | Mesin 8 | Mesin 9 | Mesin 10 | Standar Dev | % Utilisasi |
| Waktu Proses | 27 | 24 | 18 | 18 | 33 | 46 | 18 | 29 | 9 | 12 | | |
| Beban Kerja | 58.70 | 52.17 | 39.13 | 39.13 | 71.74 | 100.00 | 39.13 | 63.04 | 19.57 | 26.09 | 23.73 | 43.02 |
| Kasus 4 | | | | | | | | | | | | |
| | Mesin 1 | Mesin 2 | Mesin 3 | Mesin 4 | Mesin 5 | Mesin 6 | Mesin 7 | Mesin 8 | Mesin 9 | Mesin 10 | Standar Dev | % Utilisasi |
| Waktu Proses | 27 | 24 | 18 | 18 | 33 | 10 | 18 | 29 | | 12 | | |
| Beban Kerja | 81.82 | 72.73 | 54.55 | 54.55 | 100.00 | 30.30 | 54.55 | 87.88 | | 36.36 | 23.52 | 58.42 |
| Kasus 5 | | | | | | | | | | | | |
| | Mesin 1 | Mesin 2 | Mesin 3 | Mesin 4 | Mesin 5 | Mesin 6 | Mesin 7 | Mesin 8 | Mesin 9 | Mesin 10 | Standar Dev | % Utilisasi |
| Waktu Proses | 27 | 24 | 18 | 18 | 33 | 88 | 18 | 29 | 9 | 12 | | |
| Beban Kerja | 30.68 | 27.27 | 20.45 | 20.45 | 37.50 | 100.00 | 20.45 | 32.95 | 10.23 | 13.64 | 25.57 | 34.73 |

Rangkuman urutan % utilisasi beban kerja berdasarkan nilai standar deviasi pada 5 kasus tersebut dapat dilihat pada Tabel 23

Tabel 23
% Utilisasi berdasarkan Urutan Nilai Standar Deviasi

| | Standar Deviasi | % Utilisasi |
|---------|-----------------|-------------|
| Kasus 1 | 23.44 | 41.91 |
| Kasus 4 | 23.52 | 58.42 |
| Kasus 3 | 23.73 | 43.02 |
| Kasus 2 | 24.68 | 41.55 |
| Kasus 5 | 25.57 | 34.73 |

Berdasarkan Tabel 23 diperoleh hasil bahwa beban kerja yang rata pada setiap mesin mempengaruhi % utilisasi. Pada umumnya, semakin besar standar deviasi maka % utilisasi akan semakin kecil. Namun, hal ini juga harus dianalisis berdasarkan tingkat kerumitan perakitan.

Berdasarkan analisis di atas, dapat dibuktikan bahwa metode genetika lebih optimal jika dibandingkan dengan metode perusahaan saat ini. Namun pada kasus sebelumnya, yaitu tangki air dengan 4 dudukan hasil % utilisasi yang dihasilkan tidak berbeda secara signifikan dengan metode perusahaan.

Penyebab perbedaan yang tidak signifikan tersebut adalah :

1. Besarnya nilai *makespan* yang dihasilkan (1818 menit) sehingga persentase terlihat kecil.
2. Kurang optimalnya jumlah mesin yang digunakan oleh perusahaan.
3. Lamanya proses perakitan jika dibandingkan dengan waktu proses pada mesin lainnya.
Kurang meratanya beban kerja yang didistribusikan pada masing-masing mesin.

9. Kesimpulan dan Saran

9.1 Kesimpulan

1. Kelemahan dari metode perusahaan saat ini karena perusahaan hanya mengurutkan pengerjaan berdasarkan dengan peta proses operasi yang ada. Metode perusahaan ini menyebabkan utilisasi mesin kecil (14.95%), banyaknya *delay* sebesar 16312 menit (85.05%) dan *makespan* yang dihasilkan untuk suatu produk menjadi tinggi (1918 menit).
2. Metode penjadwalan yang sebaiknya digunakan oleh perusahaan adalah metode genetika. Metode ini memberikan manfaat waktu penyelesaian produk dengan waktu yang lebih singkat. *Makespan* tangki air ini menurun sebesar 5.21% yaitu dari 1918 menit menjadi 1818 menit. Seiring dengan menurunnya nilai *makespan* ini maka utilisasi mesin juga

meningkat sebesar 9.50% dan terjadinya penurunan *delay* pada sepuluh mesin yang digunakan sebesar 1108 menit (6.79%) dari metode aktual perusahaan yang digunakan saat ini. Metode genetika ini memberikan suatu urutan *job* dengan optimal dalam waktu yang lebih singkat (menggunakan *software*), *makespan* dan besarnya *delay* yang lebih kecil. Selain itu, perusahaan tidak perlu repot untuk memikirkan urutan pekerjaan yang sekiranya harus dikerjakan lebih dahulu.

9.2 Saran

1. Dalam melakukan penjadwalan dengan metode genetika sebaiknya perusahaan menggunakan populasi sebesar 20, jumlah generasi 7, probabilitas *crossover* 0.90 dan probabilitas mutasi sebesar 0.05.
2. Analisis parameter dapat dikembangkan lagi sehingga dapat diusulkan parameter yang ekonomis bagi persoalan yang lebih rumit.
3. Penelitian lanjutan untuk menentukan jumlah mesin optimal dengan memperhitungkan pekerjaan secara keseluruhan.
4. Usulan penjadwalan *jobshop* dapat diberikan jika diperhitungkan seluruh pesanan yang biasa ditangani perusahaan.

10. Daftar Pustaka

1. Baker, Kenneth R.; *“Introduction to Sequencing and Scheduling”*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1974.
2. Bedworth, D.D., and Bailey, J.E.; *“Integrated Production Control System : Management, Analysis, Design”*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1982.
3. Conway, Richard W., et al.; *“Theory of Scheduling”*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1967.
4. Elsayed, Elsayed A., Boucher, Thomas O.; *“Analysis and Control of Production Systems”*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1994.
5. Fogarty, Donald W, dkk *“Production and Inventory Management”* Cincinnati, Ohio, 1991.
6. Goldberg, David E.; *“Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning”*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1989.
7. Gen, Mitsuo, Cheng, Runwei; *“Genetic Algorithms and Engineering Design”*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
8. Obitko, Marek, 2008; <http://www.obitko.com/tutorials/genetics-algorithms/>
9. Smith, S.B, *“Computer-Based Production And Inventory Control”*, Prentice Hall, 1989