

Penerapan Algoritma Genetika Untuk Membuat Integrasi Proses, Perencanaan, dan Penentuan Rute Pengiriman Di Dalam Supply Chain

Stefanus Cipto Kurniawan Hadiwardoyo^{a,*}, Mustafid^b, Ferry Jie^c

^a Magister Sistem Informasi, UNDIP, Semarang, Indonesia

^b Magister Sistem Informasi dan Fakultas Sains dan Matematika, UNDIP, Semarang, Indonesia

^c School of Business IT and Logistics, College of Business, RMIT University

Abstract

Integrated process planning, scheduling, and delivery routing is an important problem in supply chain in order to achieve high quality product at lower cost. Solving this problem is important to do to generate an operation schedule and delivery route that can minimize makespan. To solve the problem, we develop a genetic algorithm approach which has 3 part of chromosome. This approach always produce a feasible solutions.

Keywords : Genetic Algorithm; Process Planning; Scheduling; Routing

1. Pendahuluan

Terjadinya peningkatan kompetisi dan globalisasi memaksa perusahaan untuk mengembangkan supply chain (SCM) yang dapat merespon kebutuhan pelanggan dengan cepat. Manajemen SCM merupakan serangkaian aktivitas mulai dari pengadaan bahan baku, mengubahnya menjadi barang setengah jadi sampai menjadi produk akhir, kemudian mengirim produk tersebut kepada pelanggan melalui suatu sistem distribusi (Shukla dkk, 2011). Secara umum SCM terdiri atas tiga tingkat (stage) : pengadaan, produksi, dan distribusi (Thomas dan Griffin, 1996) dan meliputi semua interaksi antara penyedia, pabrik, distributor, dan pelanggan (Chang dan Lee, 2004).

Untuk tetap berada di dalam posisi unggul maka perusahaan perlu melakukan perencanaan SCM berupa penjadwalan agar dapat menghasilkan produk dengan kualitas yang tinggi disertai biaya yang rendah (Moon dkk, 2008). Sebuah studi mengatakan bahwa pengeluaran logistik berkontribusi sebesar 30% terhadap total biaya produksi suatu produk (Thomas dan Griffin, 1996). Oleh karena itu diperlukan koordinasi yang baik antara bagian produksi dan distribusi agar dapat mengurangi total pengeluaran logistik. Apabila masalah penjadwalan produksi dan distribusi dilakukan terpisah maka sulit untuk mendapatkan solusi yang optimal, terutama ketika hanya tersedia sedikit sumber daya pengangkut (Zegordi dkk, 2010).

Banyak penelitian yang telah memberikan perhatian besar pada model integrasi di dalam supply chain. Perencanaan proses, penjadwalan, dan penentuan rute merupakan fungsi penting di supply chain. Hal ini dikarenakan fungsi-fungsi ini penting untuk menentukan berapa persediaan bahan baku yang harus disediakan dan

kapan proses harus dilakukan untuk memenuhi janji terhadap pelanggan.

Zhou dkk (2001) melakukan penelitian terhadap masalah penjadwalan job shop, dimana terdapat n pekerjaan yang masing-masing terdiri atas operasi sebanyak m sesuai dengan jumlah mesin yang tersedia. Di dalam penelitian Zhou dkk (2001) diusulkan penggabungan antara algoritma genetika dengan "Shortest Processing Time (SPT)" untuk meningkatkan performa solusi jadwal yang dihasilkan.

Qing dan Wang (2012) melakukan penelitian yang mengusulkan suatu operator crossover dan mutasi yang memanfaatkan informasi dari struktur "job shop scheduling" dengan model kromosom "disjunctive graph". Operator crossover yang diusulkan pada penelitian Qing dan Wang (2012) dimaksudkan untuk mempertimbangkan tingkat keberagaman populasi kromosom. Sehingga algoritma genetika tidak mudah terjebak pada konvergensi yang premature.

Algoritma genetika juga berhasil diterapkan untuk masalah penentuan rute transportasi. Baker dan Ayechev (2003) menerapkan algoritma genetika untuk masalah penentuan rute kendaraan (VRP).

Nazif dan Lee (2012) menerapkan algoritma genetika untuk masalah penentuan rute kendaraan dengan kapasitas yang sama (CVRP). Karakteristik permasalahan yang diteliti disini adalah kendaraan pengangkut memiliki kapasitas yang sama untuk mengirim barang-barang permintaan pelanggan dengan tujuan mendapatkan biaya terendah (waktu pengiriman).

Selain itu algoritma genetika juga telah diteliti untuk penerapannya di dalam rantai pasok. Moon dkk (2008) melakukan integrasi terhadap masalah perencanaan proses dan penjadwalan di dalam suatu rantai pasok dengan menggunakan algoritma genetika dan teknik "topological sort" dengan tujuan untuk meminimalkan total waktu

penyelesaian pekerjaan. Setiap pekerjaan terdiri dari sejumlah operasi yang berbeda. Setiap operasi yang ada memungkinkan untuk dikerjakan oleh beberapa alternatif mesin dengan waktu proses yang berbeda. Topological sort disini digunakan untuk mengatasi masalah presedensi operasi di dalam setiap pekerjaan, sehingga algoritma genetika dapat menghasilkan solusi yang selalu "feasible".

Zergodi dkk (2010) Algoritma genetika ber-gender digunakan di dalam penelitian ini untuk meng-integrasikan penjadwalan produksi dan transportasi dari suplier ke dalam perusahaan manufaktur.

Fokus utama tulisan ini adalah pengembangan sebuah pendekatan algoritma genetika dengan 3 struktur kromosom untuk membuat integrasi bukan hanya proses perencanaan dan penjadwalan tetapi juga penentuan rute pengiriman yang dapat meminimalkan total waktu proses keseluruhan (makespan).

2. Kerangka Teori

2.1. Struktur Umum Algoritma Genetika

Algoritma genetika sebagai suatu algoritma pencarian dengan pendekatan peluang, bekerja berdasarkan simulasi proses evolusi atas suatu populasi solusi dengan menerapkan operator genetika di dalam setiap proses reproduksi (Chu dan Beasley, 1997). Algoritma genetika mulai bekerja dengan suatu himpunan awal yang terdiri atas calon solusi acak yang disebut sebagai populasi. Setiap individu di dalam populasi tersebut disebut sebagai kromosom, yang merupakan representasi solusi berupa suatu kode simbolis. Kromosom-kromosom di dalam populasi tersebut akan ber-reproduksi menghasilkan keturunan atau kromosom baru (offspring) melalui operator crossover dan operator mutasi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Setiap kromosom di dalam populasi tersebut akan dievaluasi menggunakan suatu fungsi fitness untuk mengukur kualitas kromosom tersebut. Sebuah generasi baru akan dihasilkan melalui proses seleksi, yaitu individu atau kromosom dengan nilai fitness yang tinggi akan memiliki peluang untuk dipilih atau bertahan hidup pada generasi selanjutnya. Siklus reproduksi – evaluasi – seleksi akan diulang sampai jumlah generasi maksimum atau algoritma memusat kepada kromosom terbaik yang diharapkan menjadi solusi optimal atau sub-optimal atas masalah yang akan diselesaikan. Andaikan $P(t)$ dan $C(t)$ adalah populasi orangtua dan keturunan dari generasi saat ini t . Struktur umum algoritma genetika ditunjukkan pada Gambar 1.1.

```

Begin
  t = 0;
  initialize P(t);
  evaluate P(t);
  while ( not termination condition ) do
    recombine P(t) to yield C(t) by crossover and mutation;
    evaluate C(t);
    select P(t+1) from P(t) and C(t);
    t = t + 1;
  end
End

```

Gambar 1.1

2.2. Definisi Masalah Integrasi Proses, Penjadwalan, dan Penentuan Rute

Masalah integrasi proses, penjadwalan, dan penentuan rute pengiriman dapat dinyatakan sabagai berikut : tersedia n pekerjaan dari c pelanggan, dan m unit kerja. Setiap pekerjaan terdiri atas sekelompok urutan operasi dengan aturan presedensi atau urutan yang harus ditaati dan memiliki jumlah operasi yang berbeda-beda yang telah ditentukan terlebih dahulu. Setiap operasi memiliki karakteristik dapat diproses pada beberapa alternatif pilihan unit kerja dengan waktu proses yang berbeda-beda. Demikian juga waktu pengiriman antara pelanggan yang satu menuju lokasi pelanggan yang lainnya juga berbeda-beda dan telah ditentukan terlebih dahulu.

Masalah integrasi proses, penjadwalan, dan penentuan rute pengiriman dimulai dari penentuan unit kerja untuk setiap operasi dengan cara mengalokasikan salah satu unit kerja dari alternatif unit kerja yang tersedia untuk operasi tersebut, kemudian dilanjutkan dengan mengurutkan operasi-operasi tersebut dengan mentaati aturan presedensi setiap pekerjaan disepanjang waktu pada unit kerja terpilih untuk setiap operasi tersebut, dan di akhiri dengan menentukan urutan rute pengiriman, dengan tujuan dapat diperoleh waktu total penyelesaian seluruh pekerjaan (makespan) yang minimum.

Model pemrograman integer dalam rangka untuk menunjukkan batasan-batasan pada masalah integrasi perencanaan proses, penjadwalan, dan penentuan rute pada penelitian ini ditunjukkan dengan notasi sebagai berikut :

- I : Jumlah seluruh pekerjaan
- K : Jumlah seluruh operasi
- N : Jumlah seluruh unit kerja
- i, j : Indeks pekerjaan, $i, j = 1, 2, 3, \dots, I$
- k, l : Indeks operasi, $k, l = 1, 2, 3, \dots, K$
- p, q : Indeks unit kerja, $p, q = 1, 2, 3, \dots, N$
- R_i : Himpunan relasi presedensi antara dua operasi,

$$R_i = \{ r_{ij} \mid \forall j = 1, \dots, J_i \}, \text{ dimana}$$

$$r_{ij} = \langle k, l \rangle, J_i, \text{ adalah jumlah relasi presedensi}$$
 dari pekerjaan i , serta k dan l adalah indeks operasi-operasi.
- G_p : Himpunan operasi-operasi yang dikerjakan oleh unit kerja p
- P_{ikp} : selang waktu proses untuk operasi k dari order i pada unit kerja p .
- M : Bilangan positif yang sangat besar.
- $d_{ikl} = 1$: jika operasi k mendahului operasi l dari suatu order i , sebaliknya $d_{ikl} = 0$
- $c_{pkl} = 1$: jika operasi k mendahului operasi l di dalam suatu unit kerja p , sebaliknya $c_{pkl} = 0$
- $y_{ikp} = 1$: jika unit kerja p dipilih untuk operasi k dari suatu order i , sebaliknya $y_{ikp} = 0$

x_{ikp} = : waktu selesai operasi k dari order i pada unit kerja p

n : Jumlah seluruh pelanggan.

e,f : Indeks titik pengiriman atau pelanggan, $e,f = 0, 1, 2, \dots, n$, dimana 0 adalah lokasi awal pengiriman.

$C = (c_{ef})$: Matrik waktu pengiriman antara pelanggan v_e dan v_f

R_m : Himpunan solusi rute pengiriman oleh kendaraan pengirim m ,
 $R_m = \{v_{m0}, v_{m1}, \dots, v_{mk+1}\}$, dimana
 $v_{mf} \in V$ dan $v_{m0} = v_{mk+1} = 0$ (perusahaan percetakan).

Tujuan dari model adalah untuk meminimalkan makespan. Makespan dihitung dengan menjumlahkan waktu selesai operasi paling akhir dari keseluruhan operasi yang ada dengan waktu selesai atas rute pengiriman yang paling akhir.

1. Waktu selesai operasi yang paling akhir dari keseluruhan operasi yang di proses pada unit kerja terkait.

$$\text{Time}_{\text{Proc}} = \text{Max}(x_{ikp}), \quad \forall i, k, \text{ dan } p$$

2. Waktu pengiriman berdasarkan rute pengiriman.

$$\text{Time}_{\text{Delv}} = \sum_{e=1}^m \text{Cost}(R_m) = \sum_{f=0}^k c_{ff+1}$$

Meminimalkan $F = \text{Time}_{\text{Proc}} + \text{Time}_{\text{Delv}}$

Dengan dibatasi oleh :

1. Operasi – operasi dari setiap pekerjaan harus dikerjakan dengan mentaati aturan presedensi operasi pekerjaan tersebut.

$$x_{ilq} - x_{ikp} \geq p_{ikp}$$

$$\forall (k, l) \in R_i, i, p, \text{ dan } q \quad (1)$$

2. Sebuah unit kerja tidak dapat mengerjakan lebih dari satu operasi disaat bersamaan.

$$x_{ilp} - x_{jkp} + M(1 - c_{pkl}) \geq p_{ilp}$$

$$\forall (k, l) \in G_p, i, j, p, \text{ dan } i \quad (2)$$

$$x_{jkp} - x_{ilp} + Mc_{pkl} \geq p_{jkp}$$

$$\forall (k, l) \in G_p, i, j, p, \text{ dan } i \quad (3)$$

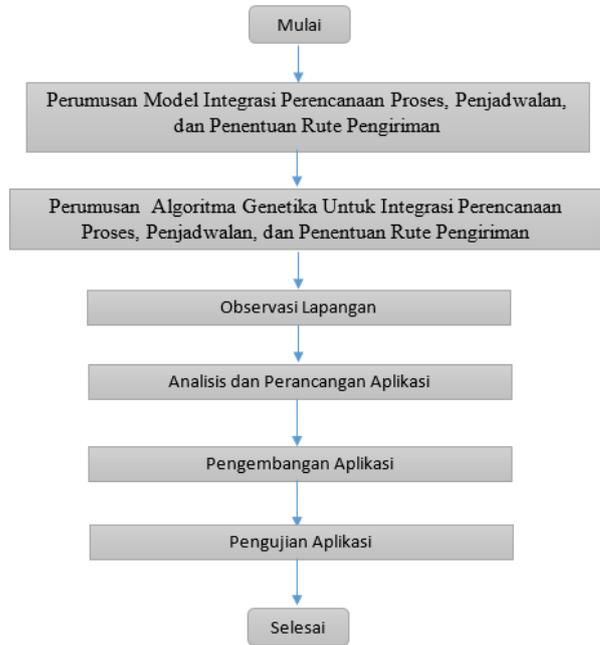
3. Setiap operasi hanya boleh dikerjakan pada sebuah unit kerja.

$$\sum_{p=1}^N y_{ikp} = 1$$

$$\forall i \text{ dan } k \quad (4)$$

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Dimulai dengan perumusan model integrasi proses, penjadwalan, dan penentuan rute pengiriman, perumusan algoritma genetika, observasi lapangan, analisis dan perancangan aplikasi, pengembangan aplikasi, pengujian aplikasi yang ditunjukkan pada Gambar

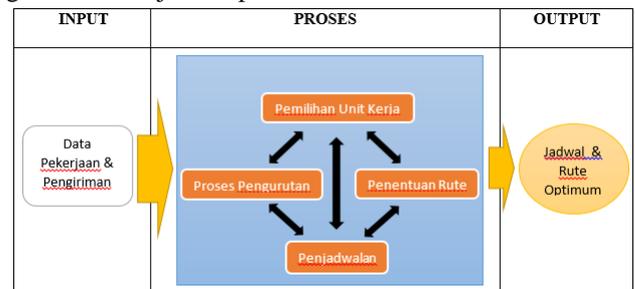


Gambar 3.1

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kerangka Sistem

Kerangka sistem dengan menerapkan algoritma genetika ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1

4.2 Representasi Kromosom

Di dalam proses pencarian solusi menggunakan algoritma genetika, representasi kromosom merupakan masalah yang pokok untuk merepresentasikan sebuah solusi yang fisibel terhadap syarat batas. Struktur kromosom dengan 3 bagian ditunjukkan pada Gambar 4.2. Di dalam Gambar 3, baris pertama bagian 1 kromosom menandakan nomor setiap operasi berpasangan secara acak dengan nomor unit kerja yang dipilih secara acak dari alternatif unit kerja suatu operasi. Sebagai contoh R9 merupakan unit kerja nomor R9 yang secara acak dipilih dari alternatif unit kerja yang mungkin bagi Operasi 2 (Op2). Baris pertama bagian 2 kromosom menandakan nomor pekerjaan berpasangan dengan nilai acak untuk

tiap-tiap nomor pekerjaan tersebut. Baris pertama bagian 3 kromosom menandakan nomor pelanggan berpasangan dengan nilai acak untuk tiap-tiap nomor pelanggan.

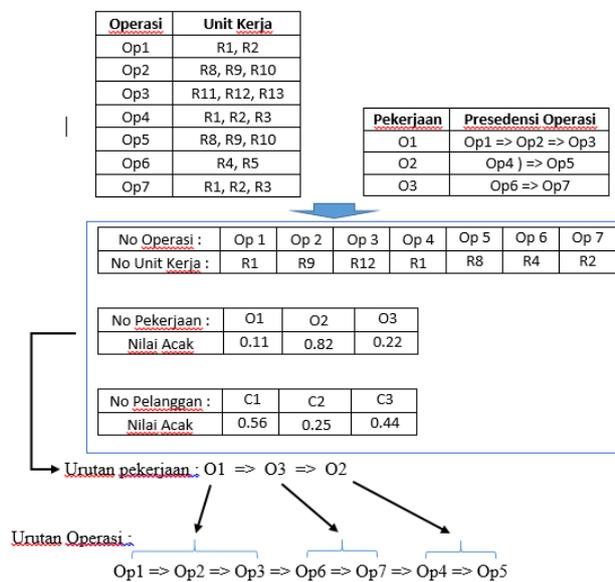
4.3 Dekode Kromosom

Di dalam Gambar 4.2, prosedur dekode kromosom yang dimulai dengan mengurutkan pekerjaan berdasarkan nilai acak dari masing-masing nomor pekerjaan pada bagian kedua kromosom, maka kita dapatkan urutan O1-O3-O2. Kemudian dengan melihat pada presedensi operasi maka kita dapatkan urutan operasi Op1 – Op2 – Op3 – Op6 – Op7 – Op4 – Op5.

Proses penugasan operasi dimulai dengan operasi pada pekerjaan O1, waktu mulai dari Op1 dengan unit kerja R1 adalah 0 dan waktu proses 3, maka diperoleh waktu selesai 3. Untuk operasi selanjutnya Op2 pada unit kerja R9, waktu mulainya adalah waktu selesai Op1 dan waktu selesainya 6 (waktu selesai Op1 + waktu proses Op2). Dengan cara yang sama maka waktu selesai setiap operasi dari setiap pekerjaan dapat ditentukan. Keseluruhan perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.3. Di dalam Gambar 4 juga menunjukkan total waktu menyelesaikan seluruh pekerjaan adalah 8 dan gantt chart.

Setelah selesai menentukan jadwal operasi pada unit kerja, maka tahap selanjutnya adalah menentukan rute pengiriman dengan mengurutkan bagian ketiga kromosom berdasarkan nilai acak tiap-tiap pelanggan. Hasil yang diperoleh dari tahap penentuan rute adalah pelanggan 2 (P2) – pelanggan 3 (P3) – pelanggan 1 (P1). Dengan menggunakan matrik estimasi waktu pengiriman antar lokasi yang ditunjukkan pada Tabel 2, maka dapat ditentukan total waktu pengiriman. Sebagai contoh rute P2-P3-P1 maka diperlukan waktu dari P0-P2 + P2-P3 + P3-P1 = 30 menit + 30 menit + 20 menit = 80 menit. Sehingga total keseluruhan waktu atau makespan 8 jam + 80 menit = 7 jam 20 menit.

Dengan menggunakan hasil dekode kromosom, maka dapat ditentukan nilai fitness dari suatu kromosom dengan cara Nilai Fitness = makespan tiap individu / total makespan.



Gambar 4.2

Tabel 1

Alternatif waktu proses unit kerja untuk operasi Op_i

Unit Kerja	Op 1	Op 2	Op 3	Op 4	Op 5	Op 6	Op 7
R1	3	-	-	2	-	-	3
R2	4	-	-	3	-	-	4
R3	-	-	-	3	-	-	3
R4	-	-	-	-	-	2	-
R5	-	-	-	-	-	3	-
R6	-	-	-	-	-	-	-
R7	-	-	-	-	-	-	-
R8	-	4	-	-	3	-	-
R9	-	3	-	-	3	-	-
R10	-	4	-	-	2	-	-
R11	-	-	2	-	-	-	-
R12	-	-	1	-	-	-	-
R13	-	-	2	-	-	-	-

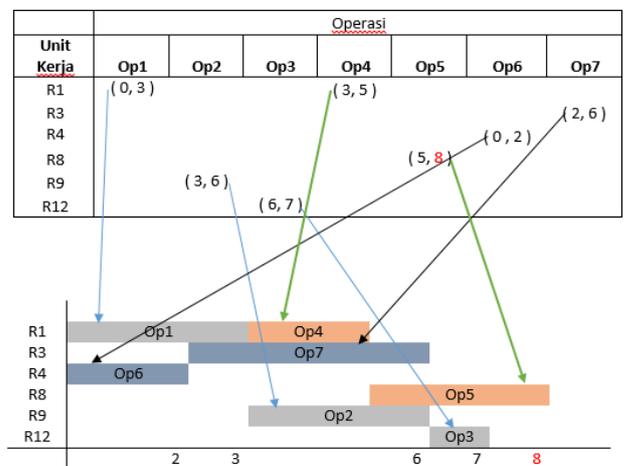
Tabel 2

Matrik waktu pengiriman antar lokasi pelanggan

Pelanggan (P)	P0	P1	P2	P3
P0	0	25	30	15
P1	30	0	15	10
P2	20	20	0	30
P3	25	20	30	0

4.4 Inisialisasi Populasi Awal

Prosedur untuk membuat kromosom yang selalu fisibel ditunjukkan berturut-turut untuk bagian pertama, kedua, dan ketiga kromosom pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6. Bagian pertama dibuat dengan memasangkan unit kerja secara acak dari alternatif unit kerja yang mungkin pada Tabel 1 untuk masing-masing operasi. Bagian kedua dibuat dengan cara mengalokasikan nilai acak untuk setiap pekerjaan. Bagian ketiga dibuat dengan cara mengalokasikan nilai acak untuk setiap pelanggan.



Gambar 4.3



```

Begin
AlternativeOperationResources;
OperationList;
PartOne = CreatePartOne as OperationList Size;
For (i = 0; i < OperationListSize; i++)
PartOne[i].OperationNo = OperationNo on OperationList at index i;
PartOne[i].ResourceNo = ResourceNo from AlternativeOperationResources
randomly;
End For
Return PartOne;
End
    
```

Gambar 4.4

```

Begin
JobList;
PartTwo = CreatePartTwo as JobList Size;
For (i = 0; i < JobListSize; i++)
PartTwo[i].JobNo = JobNo on JobList at index i;
PartTwo[i].RandomValue = CreateRandomNumber();
End For
Return PartTwo;
End
    
```

Gambar 4.5

```

Begin
CustomerList;
PartThree = CreatePartThree as CustomerList Size;
For (i = 0; i < CustomerListSize; i++)
PartThree[i].CustomerNo = CustomerNo on CustomerList at index i;
PartThree[i].RandomValue = CreateRandomNumber();
End For
Return PartThree;
End
    
```

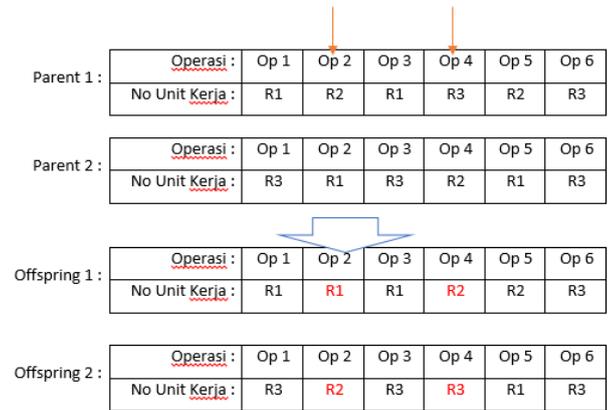
Gambar 4.6

4.5 Crossover, Mutasi dan Seleksi

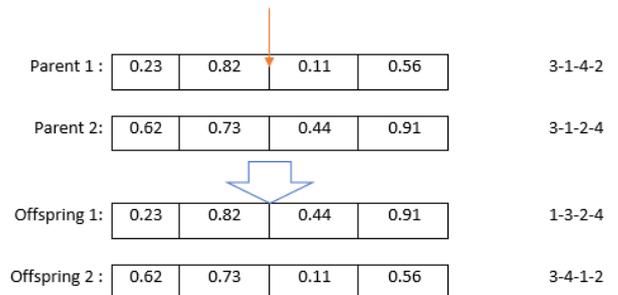
Proses crossover, mutasi, dan seleksi dilakukan untuk menghasilkan populasi baru bagi generasi selanjutnya. Untuk crossover digunakan metode “Two Point Swapping” (Moon dkk, 2008) dan “One Cut Point” (Gen dan Cheng, 1997) ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

Untuk mutasi dilakukan dengan cara seperti pada pembuatan kromosom yaitu dengan mengganti secara acak 1 lokasi slot pada bagian pertama, kedua, dan ketiga kromosom. Bagian pertama dialokasikan unit kerja baru secara acak dari alternatif unit kerja yang tersedia. Bagian kedua dan ketiga dengan meng-alokasikan nilai acak baru pada salah satu slot secara acak.

Proses seleksi untuk menyusun generasi berikutnya dilakukan dengan menggabungkan generasi saat ini (orang tua) dengan keturunan hasil rekombinasi (crossover dan mutasi). Dengan menggunakan operasi crossover dan mutasi maka diharapkan nilai fitness dari generasi ke generasi dapat semaki baik.



Gambar 4.7



Gambar 4.8

Penelitian ini menghasilkan suatu penerapan algoritma genetika yang memiliki struktur kromosom 3 bagian untuk membuat integrasi proses perencanaan, penjadwalan, dan penentuan rute pengiriman.

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah melakukan penerapan suatu algoritma genetika dengan struktur kromosom yang terdiri dari tiga bagian untuk masalah integrasi proses, penjadwalan, dan penentuan rute pengiriman di dalam rantai pasok. Sebuah pendekatan algoritma genetika baru telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah integrasi tersebut. Pendekatan algoritma genetika ini selalu menghasilkan jadwal operasi yang memenuhi aturan presedensi operasi tiap pekerjaan serta rute pengiriman yang minimal. Hasil penelitian dan pembahasan telah menunjukkan bahwa pendekatan algoritma genetika ini dapat menjadi alternatif yang cukup baik untuk menghasilkan jadwal operasi pekerjaan dan rute pengiriman yang minimal.

Daftar Pustaka

Baker, B.M., dan Ayechev, M.A., 2003, A genetic algorithm for the vehicle routing problem, Computers and Operations Research 30, 787-800.
 Chang, Y., Lee, C., 2004, Machine schedule with job delivery coordination, European Journal of Operation Research 158 (2), 470-487.
 Chu, P.C., dan Beasley, J.E., 1997, A Genetic algorithm for the generalized assignment problems, Computer and Operations Research 24, 17-23.
 Gen, M., dan Cheng R., 1997, Genetic Algorithms And Engineering Design, John Wiley and Sons, Inc, New York.



- Goncalves, J.F., Mendes, J.J.M., dan Resende, M.G.C., 2005, A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 162, 77-95.
- Li, D., Lin, H., dan Torng, K., 1996, A Strategy for evolution of algorithms to increase the computational effectiveness of NP-hard scheduling problems, *European Journal of Operation Research* 88 (1), 404-412.
- Moon, C., Lee, Y.H., Jeong, C.S., dan Yun, Y., 2008, Integrated process planning and scheduling in a supply chain, *Computers and Industrial Engineering* 54 (4), 1048-1061.
- Nazif, H., dan Lee, L.s., 2012, Optimized crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem, *Applied Mathematical Modelling* 36, 2110-2117.
- Qing, R., Wang, Y., 2012, A new hybrid genetic algorithm for job shop scheduling problem, *Computer and Operations Research* 39, 2291-2299.
- Shukla, R.K., Garg, D., Agarwal, A., 2011, Understanding of Supply Chain : a Literature Review, *International Journal of Engineering Science and Technology* (3), 2059-2072.
- Thomas, D.J., Griffin, P.M., 1996, Coordinated supply chain management, *European Journal of Operational Research* 94 (1), 1-15.
- Zegordi, S.H., Abadi, I.N.K., Nia, M.A.B., 2010, A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain, *Computers and Industrial Engineering* 58 (1), 373-381.
- Zhou, H., Feng, Y., Han, Limin., 2001, The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling, *Computers and Industrial Engineering* 40, 191-200.