

Penggunaan Kaedah Algoritma Genetik dalam Permasalahan Penjadualan PCB: Kajian Kes di Industri Elektronik

(The Use of Genetic Algorithm in PCB Scheduling Problem: Case Study in Electronic Industry)

Zalinda Othman

ABSTRAK

Fungsi perancangan pengeluaran dan penjadualan memainkan peranan utama di dalam bidang pengeluaran terutamanya untuk memastikan sumber-sumber pengeluaran yang diperlukan telah tersedia bagi melaksanakan operasi-operasi yang terlibat dalam pengeluaran produk-produk. Kertas penyelidikan ini telah mencadangkan penggunaan kaedah Algoritma Genetik dalam menyelesaikan masalah penjadualan dan satu kajian kes telah dijalankan di industri pemasangan papan litar tercetak. Formulasi Algoritma Genetik yang melibatkan perwakilan kromosom serta operator-operator genetik telah dibangunkan dan disesuaikan dalam permasalahan penjadualan yang mempertimbangkan talian-talian pembuatan alternatif. Keputusan simulasi yang dijalankan menunjukkan kaedah Algoritma Genetik berupaya menghasilkan jadual dengan masa pemasangan yang lebih singkat berbanding kaedah insani. Algoritma Genetik juga merupakan kaedah boleh-suai dalam aspek penambahan elemen seperti masa penyenggaraan dapat dilakukan dengan mudah dengan menambah slot masa penyenggaraan. Ia dilakukan semasa pembinaan kromosom semasa pembangunan jadual. Selain itu, perbandingan juga dilakukan dengan menggunakan kaedah peraturan penghantaran semasa menyusun model-model yang perlu dipasang pada talian-talian terlibat. Kaedah Algoritma Genetik didapati dapat menghasilkan jadual dengan masa pemasangan yang lebih pendek berbanding kaedah insani dan kaedah peraturan penghantaran.

Kata kunci: algoritma genetik; penjadualan pembuatan; talian alternatif; pengoptimuman penjadualan

ABSTRACT

Production planning and scheduling functions play important roles in production especially to ensure the availability of manufacturing resources needed to accomplish production tasks. This paper proposes the use of Genetic Algorithm in solving scheduling problems and the case study has been conducted in printed circuit board assembly company. Genetic algorithm formulation included chromosome representations and genetic operators have been developed to suit the scheduling problems that take into account the alternative production lines. Simulation results have been compared to the manual schedules. It shown that the genetic algorithm is capable to produce schedules with shorter assembly time. It is can accommodate additional elements such as maintenance time quite easily. This is done by adding the maintenance time slot within the chromosome. Another experiment has been done by using dispatching rule in sequencing the models on the assembly lines. Genetic Algorithms have shown a promising results compared to manuan and dispatching rule.

Keywords: genetic algorithm; production scheduling; alternative line; scheduling optimization

PENGENALAN

Kajian terdahulu menunjukkan kaedah-kaedah yang digunakan dalam permasalahan penjadualan adalah bertujuan menghasilkan satu jujukan tugas. Jujukan ini diharap dapat meminimumkan objektif-objektif tertentu seperti meminimumkan masa pengeluaran, menepati tarikh akhir, meminimumkan bilangan sedia dan sebagainya. Kajian kes ini menyelesaikan masalah penjadualan dengan menghasilkan jujukan lot-lot papan litar tercetak (printed circuit board, PCB), menerusi penggunaan kaedah Algoritma Genetik (Genetic Algorithm, GA). Ia melihat masalah penjadualan yang melibatkan sejumlah talian.

Kaedah GA merupakan kaedah yang paling kukuh dan merupakan kaedah yang paling efektif untuk masalah penjadualan (Han et al. 2008). Proses utama GA adalah terdiri daripada pemilihan, penyilangan dan mutasi yang menilai penyelesaian yang paling optimum (Han et al. 2008; Duta et al. 2008). Masalah penjadualan dengan talian alternatif juga dilihat sebagai satu masalah integrasi penjadualan iaitu masalah penjanaan jadual-jadual yang mengambil kira talian-talian alternatif. Masalah integrasi perancangan penjadualan biasanya melibatkan setiap operasi bagi sesuatu tugas itu mempunyai mesin-mesin alternatif yang mampu melaksanakan proses-proses yang

sama. Kajian kes ini melibatkan pemasangan model-model yang boleh dilaksanakan pada talian-talian alternatif tertentu iaitu ia melibatkan persekitaran persekitaran pengeluaran pemasangan.

Objektif kajian ini dijalankan adalah untuk melihat sejauh manakah kaedah GA dapat menangani masalah integrasi perancangan penjadualan dan boleh digunakan di dalam industri sebenar. Kajian ini akan memfokuskan bagaimana menjana turutan lot-lot PCB yang akan dipasang dengan mempertimbangkan serta meminimumkan salah satu objektif pengeluaran yang digunakan semasa penjaanaan jadual dalam situasi sebenar, iaitu jumlah masa pemasangan PCB pada mesin *chip shooter* di setiap talian. Kajian kes ini hanya akan menumpukan pada turutan awal lot-lot PCB, yang dijanakan oleh GA, pada setiap talian pemasangan yang terlibat. Pendekatan ini boleh digunakan apabila sistem pengawalan bahan yang menghubungkan mesin-mesin atau stesen kerja melalui satu laluan tetap seperti konveyor (Dessouky et al. 1995). Seperti yang telah dibincangkan, penghalaan alternatif akan dipertimbangkan iaitu talian alternatif bagi pemasangan setiap PCB akan diambilkira.

Bagi algoritma penjadualan dalam kajian kes ini, masa sedia untuk pertukaran jenis PCB dianggap sama dan telah ditentukan oleh individu yang terlibat dalam penjaanaan jadual sebenar. Masa sedia yang diambilkira ialah masa yang diambil bagi menukarkan komponen (iaitu permuatan dan pengosongan rel komponen) yang diperlukan semasa pertukaran pemasangan PCB lain. Contoh rujukan yang mengambilkira masa sedia boleh didapati daripada McMullen et al. (2000).

Selain masa sedia, masa peralihan PCB ke dalam dan keluar mesin adalah diabaikan dan semua bahan mentah yang diperlukan bagi operasi pemasangan telah disediakan. Di dalam kes ini perancangan pengeluaran jangka pendek digunakan sebagai input, dan untuk melaksanakan algoritma yang dibangunkan data bagi pengeluaran untuk seminggu telah digunakan.

Kajian kes ini dibuat di sebuah kilang elektronik yang terletak di Kulim Hi-Tech Park, Kulim, Kedah. Syarikat ini telah ditubuhkan pada 20 Ogos 1993. Syarikat tersebut telah memberi perkhidmatan kepada banyak industri pelbagai nasional dalam bidang komunikasi, elektronik, perkakasan komputer, produk pengguna dan produk tenaga. Operasi pengeluaran utama syarikat merupakan operasi pemasangan PCB. PCB-PCB yang dipasang di syarikat ini sama ada akan

dipasarkan terus kepada pelanggan ataupun digunakan di lantai pengeluaran untuk menghasilkan produk lengkap.

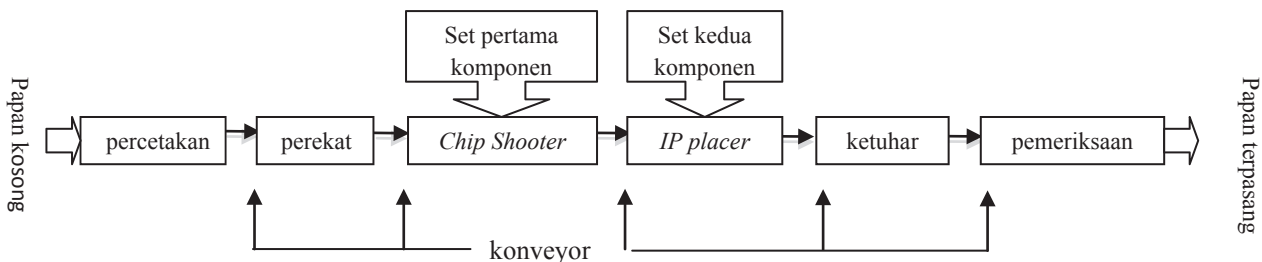
Antara produk-produk yang dihasilkan ialah:

1. Produk telekomunikasi seperti mikrofon, *walkie-talkie*, *hand held control held* dan *mobile control head*.
2. Produk tenaga seperti modul kuasa (*energy module*), pengecas (*charger*) dan dawai lentur bateri (*battery flexes*).
3. Produk untuk kegunaan pengguna seperti papan-papan litar untuk kamera *polaroid*.
4. Perkakasan komputer seperti papan-papan litar bagi pengawalan CD ROM.

Pada dasarnya operasi pemasangan PCB terbahagi kepada dua bahagian iaitu operasi pemasangan secara insani dan operasi pemasangan secara automatik iaitu melalui teknologi *surface mount technology* (SMT). Operasi pemasangan secara insani dilakukan oleh operator-operator pengeluaran bagi pemasangan PCB dan komponen-komponen lain untuk menghasilkan produk-produk lengkap seperti radio mudah alih 2-hala. Operasi SMT pula adalah berkaitan dengan pemasangan komponen-komponen elektronik ke atas PCB secara automatik dan seterusnya PCB-PCB ini akan digunakan bagi menghasilkan produk lengkap ataupun dipasarkan terus kepada pelanggan. Operasi pemasangan di syarikat tersebut berjalan berterusan selama 24 jam sehari iaitu terdapat 3 giliran waktu bekerja pada hari-hari bekerja.

Pemasangan PCB di syarikat ini bergantung kepada permintaan pelanggan. Pada masa kajian dijalankan terdapat lebih kurang 151 model yang sering digunakan. Sesetengah model ini merupakan papan dwi permukaan, iaitu kedua-dua muka papan memerlukan operasi pemasangan komponen yang berbeza. Papan-papan jenis ini boleh dilihat sebagai model yang berbeza kerana ia memerlukan proses pemasangan yang berasingan.

Operasi SMT di syarikat tersebut terdiri daripada sebelas talian berasingan dan setiap satu talian terdiri daripada beberapa mesin yang melakukan operasi-operasi tertentu. Talian-talian ini tidak dikhususkan untuk kumpulan keluarga produk tertentu sahaja. Ia merupakan talian yang bolehsuai dan berupaya melaksanakan pemasangan papan-papan litar daripada kumpulan keluarga produk yang berbeza. Rajah 1 menunjukkan fasa kerja di talian pemasangan SMT syarikat ini.



RAJAH 1. Fasa Kerja Lazim dalam Talian Pemasangan SMT

Merujuk Rajah 1, secara amnya keupayaan talian SMT adalah terdiri daripada proses percetakan (*printing*), proses pemberian perekat (*glueing dispenser*), perlekatan komponen oleh mesin-mesin peletakan komponen (*component placement*), ketuhar (*oven*) dan di akhir talian ialah pemeriksaan secara insani (*manual*). Keupayaan yang perlu ada pada semua talian ialah percetakan, peletakan komponen, ketuhar dan pemeriksaan. Proses pemberian perekat pula tidak terdapat pada semua talian. Ini kerana tidak semua produk memerlukan stesen perekat. Di dalam operasi SMT syarikat ini, mesin-mesin peletakan komponen biasanya dianggap cerutan dan masa pemasangan di mesin-mesin ini diambil sebagai ukuran yang menentukan masa penyiapan keseluruhan pemasangan PCB. Terdapat dua jenis mesin peletakan komponen yang beroperasi, iaitu mesin-mesin Fuji CP (*rotary turret machine* iaitu pergerakan dalam arah pusingan) dan *IP placer* (*insertion machine*, pergerakan dalam arah X-Y). Mesin-mesin Fuji CP ini dikenali sebagai mesin *chip shooter* kerana kepatantasannya melaksanakan pemasangan komponen-komponen (Smed et al. 1999). Terdapat dua jenis mesin yang beroperasi iaitu CP6 dan CP4. CP6 merupakan mesin terkini dengan kepatantasan yang lebih tinggi berbanding dengan CP4. Mesin-mesin ini terdapat di setiap talian. *IP placer* pula merupakan mesin pemasangan bagi sesetengah komponen tertentu. Mesin ini hanya terdapat di sesetengah talian sahaja dan pergerakannya adalah lebih perlahan berbanding mesin-mesin CP.

PENDEKATAN DAN KAEDAH

Setiap PCB yang akan dipasang mewakili model-model tertentu daripada kumpulan keluarga produk yang berlainan. PCB-PCB ini mempunyai keperluan pemasangan yang berbeza; seperti sesetengah model memerlukan stesen perekat dalam salah satu operasi pemasangan, manakala model yang lain tidak memerlukan stesen ini. Ini dapat dipenuhi dengan peruntukan PCB-PCB tertentu ke talian-talian tertentu. Kaedah penjadualan yang dicadangkan ini akan mempertimbangkan keperluan PCB-PCB dalam proses pemasangan komponen-komponennya di samping cuba meminimumkan masa pemasangan yang maksimum.

Masalah penjujukan PCB ini secara amnya menyerupai masalah penjujukan tugas di persekitaran bengkel kerja. Setiap PCB pada talian tertentu akan melalui proses pemasangan di mesin-mesin yang serupa, iaitu turutan operasi setiap PCB adalah sama. Walaubagaimanapun, pengoptimuman masalah di dalam kes ini berbeza apabila ia mengambil kira talian-talian alternatif semasa proses penjujukan PCB di setiap talian dibuat.

Algoritma bermula dengan input yang diterima daripada pesanan tentang model-model yang akan dibina. Input ini terdiri daripada nama model yang akan dibuat, nombor rujukan bagi pengawalan bahan dan saiz lot. Seterusnya input ini akan dirujuk kepada pangkalan data bagi semua produk SMT untuk memperolehi maklumat tentang keperluan-keperluan tertentu model tersebut, contohnya talian-talian alternatif, masa pemasangan di mesin-mesin *chip shooter* di setiap talian dan masa sedia yang diperuntukkan. Talian-talian alternatif ini bergantung kepada keperluan pemasangan model. Antara keperluan-keperluan tertentu bagi sesetengah model adalah seperti berikut:

1. Memerlukan stesen perekat (GL);
2. Tidak memerlukan mesin CP4 (NRCP4);
3. Memerlukan mesin *IP placer* dan tidak memerlukan mesin CP4 (IPNRCP4);
4. Memerlukan mesin CP6 (RCP6);
5. Memerlukan stesen perekat dan tidak memerlukan mesin CP6 (GLNRCP6);
6. Memerlukan stesen perekat dan mesin *IP placer* (GLIP);
7. Tidak memerlukan mesin CP6 (NRCP6);
8. Dan tiada sebarang keperluan tertentu (NONE).

Contoh data yang digunakan ditunjukkan oleh Jadual 1. Daripada Jadual 1, kolom Model merupakan senarai nama-model yang akan menjalani operasi pemasangan. Kolom kedua ialah nombor rujukan pengawalan bahan dan kolom ketiga menunjukkan keperluan model-model tersebut. Contohnya, model HLN5343CSP01 memerlukan stesen perekat (GL) untuk operasi pasangannya. Bagi memenuhi keperluan ini terdapat dua talian iaitu *L1* dan *L2* yang mempunyai stesen perekat. Oleh itu, model ini boleh menjalani operasi pemasangan di antara dua talian ini.

JADUAL 1. Contoh Data

Model	Bil. Rujukan bahan	Saiz lot	Keperluan		Unit sejam, (<i>unit per hour, uph</i>)	
			Keperluan	Talian alternatif	CP6	CP4
GCN6121A(T0)	16649	360	GL	L1,L2,L4,L5,L6	200	180
HLN5342E	16618	100	GL	L1,L2	200	150
HLN5342E	16640	200	GL	L1,L2	200	150
HLN5342ESP01	16648	100	GL	L1,L2	200	150
HLB4101(TOP)	MMO	250	NRCP4	L1L4L5L6	50	-

Dua kolom terakhir menunjukkan dua mesin utama (iaitu CP6 dan CP4) yang menentukan jumlah masa penyiapan keseluruhan pemasangan PCB. Bagi model HLB4101(TOP) pula tidak memerlukan mesin CP4 (NRCP4) tetapi masih memerlukan stesen perekat. Oleh itu produk ini tidak akan dipasang di mesin C4 (di dalam Jadual 1, tiada masa pemasangan di kolom C4). Walaupun terdapat dua mesin chip shooter C4 dan C6, dalam kes pemasangan ini, hanya mesin C6 yang terlibat. Masa pemasangan di mesin-mesin ini diukur dalam jumlah unit papan tercetak dalam sejam (*unit per hour*, uph). Masa sedia pula telah ditetapkan kepada satu jam bagi setiap pertukaran model. Ini telah digunakan oleh individu yang terlibat dalam penjaanaan jadual sebenar.

Setelah keperluan setiap model ditentukan, pengawalan populasi kromosom dilakukan oleh GA dan seterusnya mencari jadual dengan nilai masa penyiapan keseluruhan yang paling boleh diterima. Akhir sekali, satu set jadual dengan nilai masa pemasangan yang paling minimum dihasilkan.

FORMULASI GA

Kromosom yang dibangunkan merupakan senarai model yang akan dibina serta talian yang berkaitan. Ini merupakan contoh perwakilan terus dan penjana jadual tidak diperlukan bagi menyahkodkan perwakilan ini. Secara umumnya, kromosom dibina dengan jujukan talian dan model yang akan dipasang di talian tersebut, seperti di Rajah 2. Sebagai contoh, daripada Rajah 3, model GCN6121A(T) akan dibuat di talian nombor 6, manakala model 4012(T) pula di talian nombor 1 dan seterusnya.

Operator persilangan pula pada dasarnya merupakan persilangan dua titik. Pemilihan dua titik persilangan pada kromosom dibuat secara rawak, kemudian maklumat anantara dua titik ini disalingtukarkan di antara dua induk untuk menghasilkan dua turutan baru. Rajah 3 menunjukkan bagaimana operasi persilangan ini dilaksanakan untuk menghasilkan turunan.

Model-model berserta talian masing-masing yang terlibat dalam proses persilangan adalah seperti yang ditandakan dalam Rajah 4. Model-model yang terlibat

dalam persilangan pada induk 1 ialah 4012(T) (talian 1), HMN3413A (talian 4) dan HLB4101(T) (talian 4). Proses persilangan akan memeriksa model-model yang sama (seperti model di Induk 1 yang terlibat dalam persilangan) pada Induk 2 dan menukarkan nombor talian. Hasil persilangan ditunjukkan pada model-model dan talian yang digelapkan di Turunan 2 pada Rajah 3 iaitu HLB4101(T) (talian 4), HMN3413A (talian 4) dan 4012(T) (talian 1). Proses yang sama berlaku terhadap Induk 2 untuk menghasilkan Turunan 1.

Operator persilangan ini berfungsi untuk memastikan bahawa jadual yang akan dihasilkan memenuhi kekangan yang ada iaitu model yang akan dibina tidak berulang dalam senarai kromosom. Ini dilakukan dengan memastikan maklumat yang terkandung di antara dua titik persilangan (iaitu model dan talian) pada satu induk ditukarkan dengan model yang sama pada induk yang satu lagi. Di sini persilangan berfungsi mempelbagaikan turutan model yang terpilih kepada talian alternatif lain.

Rajah 5 pula menunjukkan operator mutasi yang diperlukan. Ia akan menukarkan nombor talian kepada nombor talian lain yang sedia ada secara rawak.

Setiap kromosom mewakili satu jadual pemasangan yang sah. Jadual pemasangan ini akan dinilai menerusi ukuran jumlah masa pemasangan bagi keseluruhan operasi pemasangan di setiap talian. Nilai kesesuaian (*fitness function*) bagi algoritma genetik ialah meminimumkan masa pemasangan keseluruhan.

Masa pemasangan bagi satu model adalah seperti berikut:

$$\text{Masa Pemasangan} = \frac{\text{jumlah lot}}{\text{jumlah unit se jam}}$$

Sebagai contoh, model GCN6121A(T) yang dipasang pada talian 6 memerlukan masa pemasangan 1.8 jam di CP6 (berdasarkan 1: jumlah lot ialah 360 dan uph di CP6 ialah 200). Parameter-parameter kawalan GA yang digunakan seperti berikut:

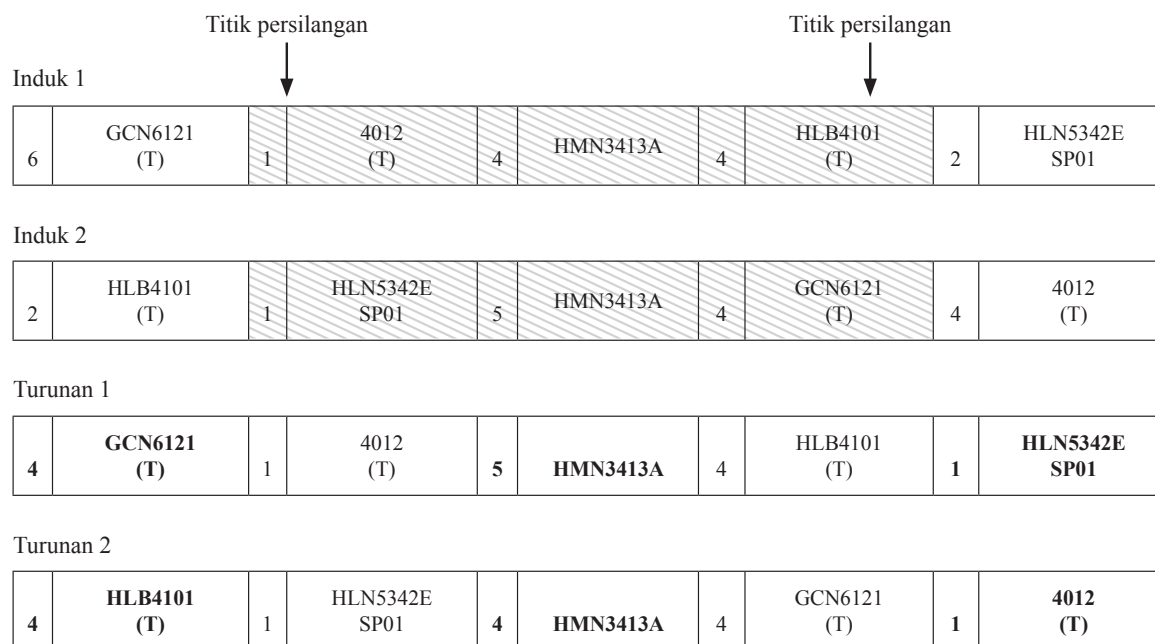
1. Saiz populasi: 140
2. Kebarangkalian persilangan: 0.5
3. Kebarangkalian mutasi: 0.01
4. Jurang generasi: 0.9
5. Bilangan generasi: 100

Talian	Model	Talian	Model	Talian	Model	Talian	Model	Talian
--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------

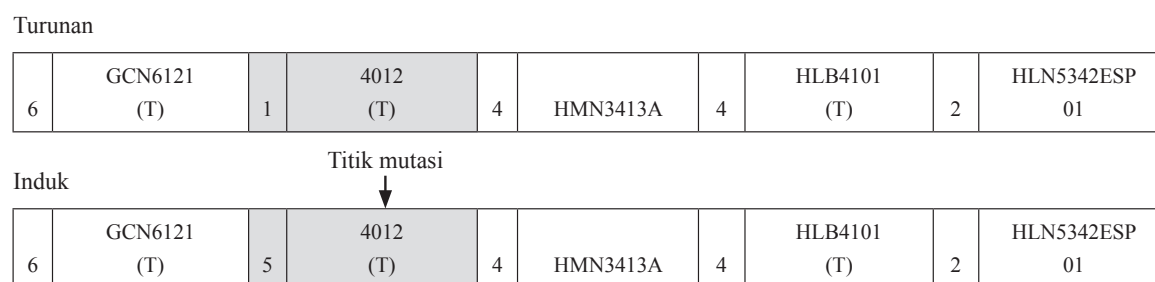
RAJAH 2. Perwakilan Kromosom Secara Umum

6	GCN6121A(T)	1	4012(T)	4	HMN3413A	4	HLB4101(T)	2	HLN5342ESP01
---	-------------	---	---------	---	----------	---	------------	---	--------------

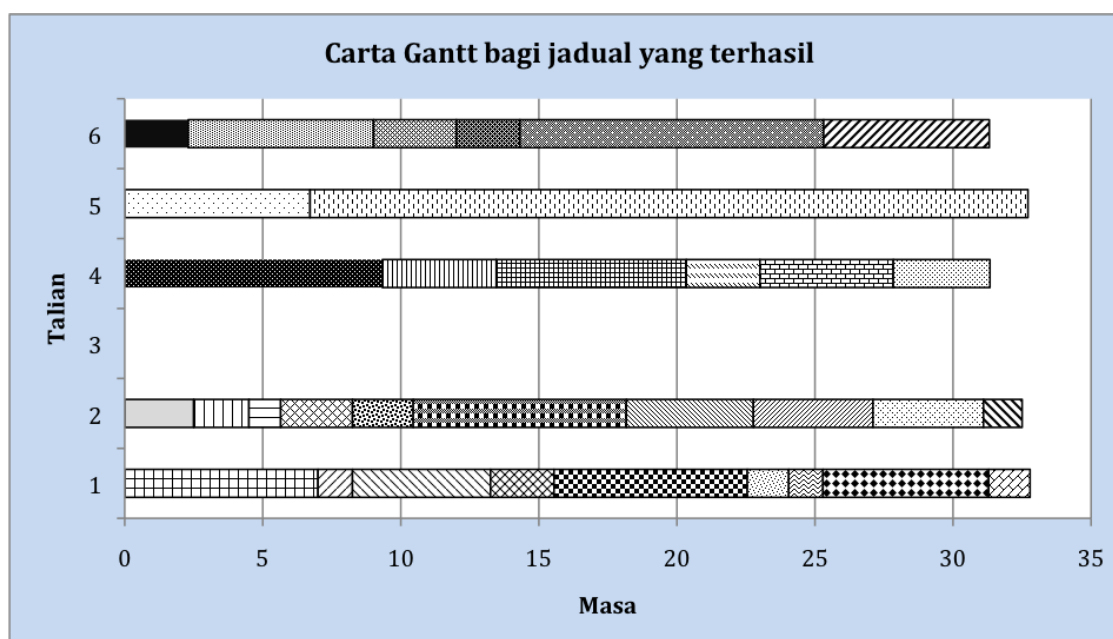
RAJAH 3. Contoh Perwakilan Kromosom



RAJAH 4. Contoh operator persilangan



RAJAH 5. Contoh operator mutasi



RAJAH 6. Carta Gantt bagi Eksperimen

EKSPERIMEN DAN KEPUTUSAN

Tiga eksperimen dijalankan bagi pengujian algoritma dengan kaedah GA iaitu penjadualan biasa, penjadualan dengan penyenggaraan dan penjadualan menggunakan peraturan penghantaran.

EKSPERIMEN 1: Tujuan eksperimen 1 dijalankan adalah untuk perbandingan di antara kaedah insani dan juga kaedah GA yang dicadangkan.

EKSPERIMEN 2: Eksperimen 2 dijalankan dengan mempertimbangkan masa penyenggaraan yang diperuntukkan iaitu selama empat jam di setiap talian. Slot masa penyelenggaraan di setiap talian dijanakan secara rawak. Tujuan eksperimen ini adalah untuk menunjukkan keupayaan GA dalam menjanakan jadual dengan elemen tambahan seperti masa penyelenggaraan. Ini dapat membantu individu yang terlibat dalam penjanakan jadual perancangan aktiviti-aktiviti yang berkaitan jika terdapat penambahan elemen dalam proses penjadualan.

EKSPERIMEN 3: Selain kaedah GA yang digunakan, satu kaedah peraturan penghantaran juga telah dibangunkan. Dalam kaedah peraturan penghantaran ini, satu peraturan digunakan bagi membuat keputusan akhir dalam memilih satu talian daripada satu set talian yang sedia ada. Peraturan yang disediakan dalam eksperimen ini melibatkan masa pemasangan terpendek iaitu turutan model-model dibuat dengan mempertimbangkan peraturan talian yang paling cepat siap dalam operasi pemasangan akan dipilih terlebih dahulu. Faktor masa pemasangan dipilih kerana ia diharap dapat meningkatkan masa pemasangan keseluruhan di setiap talian.

Carta Gantt yang ditunjukkan oleh Rajah 6 menunjukkan salah satu jadual yang terhasil daripada pengoptimuman algoritma GA. Daripada Rajah 6 setiap corak menggambarkan model-model tertentu, iaitu sejumlah 33 model dan jangkamasa pemasangan masing-masing pada mesin *chip shooter* di setiap talian. Jumlah masa pemasangan maksimum yang diperoleh daripada eksperimen ini ialah 32.79 jam. Jadual 2 pula menunjukkan masa pemasangan setiap model pada talian-talian secara terperinci. Masa pemasangan maksimum iaitu 32.78 jam diperolehi di Talian 1 dengan melibatkan pemasangan sejumlah 9 model.

Rajah 7 dan Rajah 8 pula menunjukkan plot nilai purata dan nilai terbaik yang diperoleh oleh algoritma GA. Rajah 7 menunjukkan GA mula menumpu pada generasi ke 20 dan nilai terbaik diperoleh pada generasi ke 30. Nilai purata iaitu 32.79 jam merupakan nilai purata masa pemasangan keseluruhan bagi satu populasi (iaitu 140 jadual yang terhasil oleh algoritma genetik). Keputusan ini dibandingkan dengan jadual yang dibangunkan secara insani oleh individu yang terlibat dalam perancangan penjadualan SMT di syarikat ini. Masa pemasangan maksimum (dalam jam) bagi setiap talian bagi kaedah insani ini berbanding dengan kaedah yang dicadangkan adalah seperti Jadual 3.

Daripada Jadual 3, terdapat dua nilai yang berbeza bagi kaedah insani. Nilai pertama merupakan nilai anggaran yang dibuat oleh individu terbabit dengan mengambil kira masa tambahan yang biasanya diberikan untuk setiap model. Masa tambahan ini biasanya dalam julat satu hingga tiga jam. Tiada data yang khusus bagi masa tambahan ini dan ianya diberikan mengikut pengalaman individu terbabit. Masa di dalam kurungan pula merupakan masa pengiraan bagi pemasangan di setiap mesin CP yang terlibat.

Jumlah unit se jam bagi setiap model telah ditetapkan dan bergantung kepada mesin CP tertentu. Pengukuran masa pemasangan ini juga digunakan dalam kaedah yang dicadangkan. Keputusan perbandingan di antara kaedah insani dan kaedah GA menunjukkan secara keseluruhannya masa pemasangan yang diperoleh menerusi kaedah GA adalah lebih singkat dan taburan beban kerja bagi setiap talian adalah lebih sekata. Jika talian dianggap mempunyai keadaan pengoperasian yang sama, taburan yang sekata adalah penting bagi mengelakkan keadaan yang kurang bebanan ataupun terlebih bebanan. Masa pemasangan yang singkat adalah lebih baik bagi memastikan model dapat disiapkan dalam jangka masa yang ditetapkan.

Rajah 9 menunjukkan Carta Gantt bagi jadual yang terhasil, dan nilai masa jumlah pemasangan di mesin *chip shooter* yang boleh diterima ialah 37.22 jam. Jumlah masa pemasangan adalah lebih tinggi kerana penambahan masa bagi penyenggaraan.

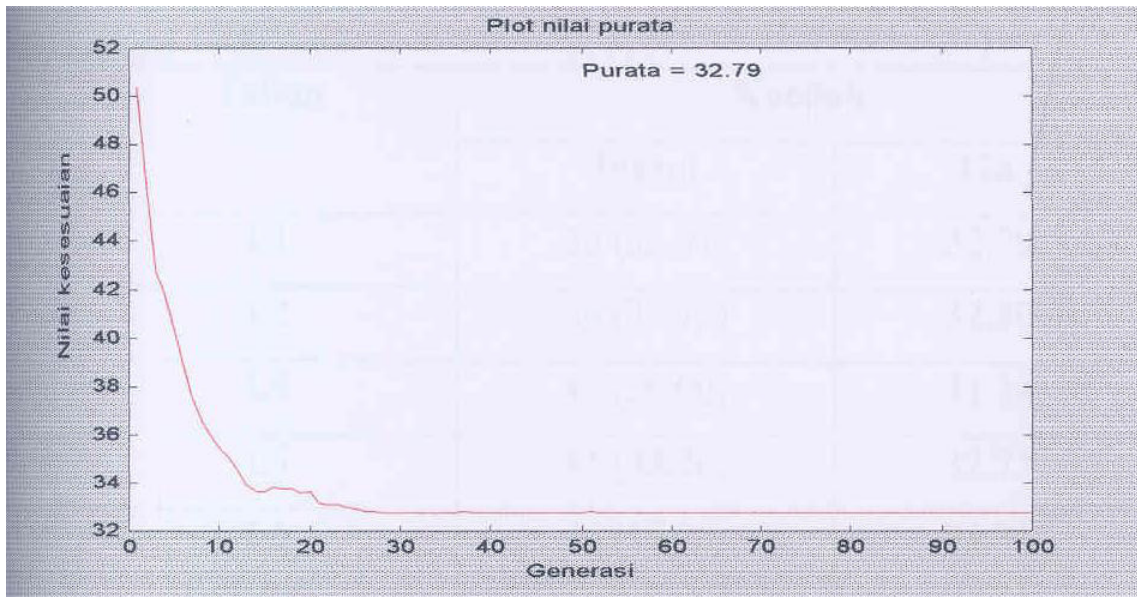
Jadual 4 merupakan keputusan terperinci masa pemasangan setiap model pada setiap talian. Slot masa penyenggaraan ialah 4 jam dan diwakili oleh PM. Terdapat sepuluh model yang perlu menjalani proses pemasangan di talian 1. Turutan bermula dengan model 5172(B) diikuti oleh model HLN5342ESP01 dan operasi pemasangan di talian L1 diakhiri oleh model HLN5342E. Slot untuk masa penyelenggaraan (PM) adalah selepas operasi pemasangan model 9313(B) selesai. Slot-slot PM ini ditunjukkan pada Rajah 9 dengan corak yang sama.

Daripada keputusan yang diperoleh, kaedah GA dilihat dapat digunakan dalam menangani masalah penjadualan dengan penambahan elemen luaran seperti masa penyelenggaraan tersebut. Elemen masa penyenggaraan ini dibuat dengan menambah slot PM secara rawak di setiap talian pada kromosom semasa penjanakan jadual.

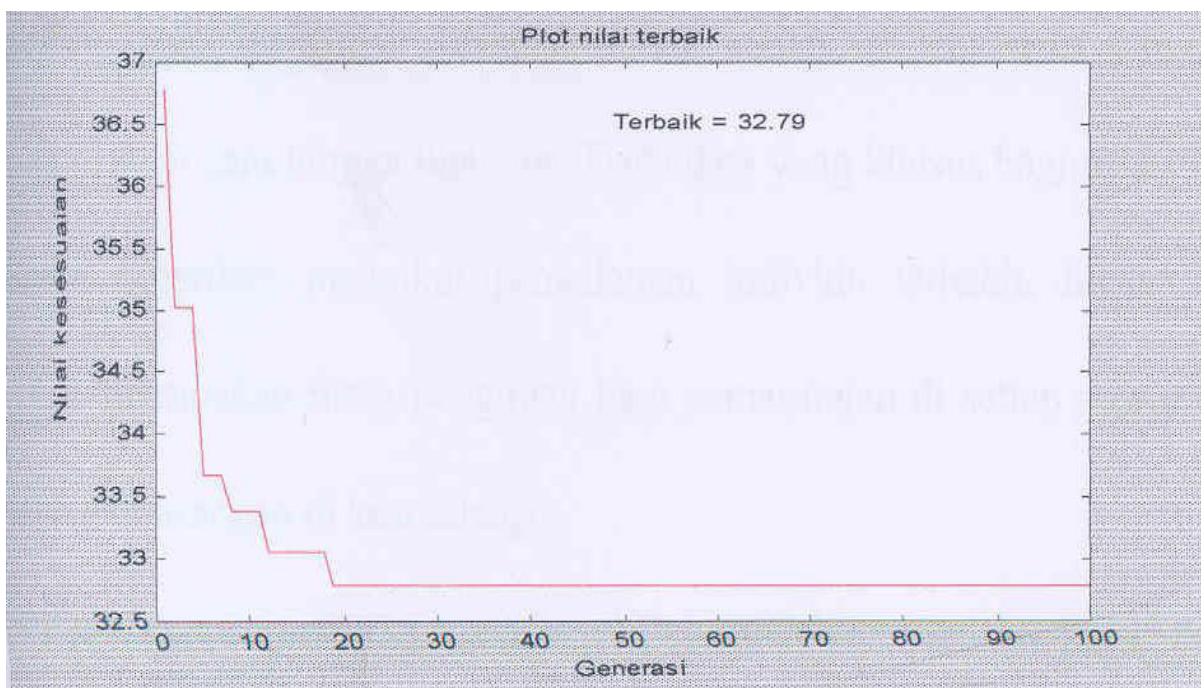
Rajah 10 menunjukkan jadual yang dijana dengan mengambilkira peraturan yang memilih model berikut bagi pemasangan pada talian yang paling cepat siat. Keputusan yang diperoleh bagi masa pemasangan maksimum adalah sebanyak 44.56 jam.

Keputusan penjanakan jadual mengikut peraturan penghantaran ditunjukkan pada Jadual 5. Masa pemasangan yang maksimum ialah 44.56 di talian 2 dengan pemasangan sebanyak 13 model.

Walaupun kaedah heuristik yang melibatkan peraturan-peraturan tertentu ini merupakan satu kaedah yang realistik dan biasa digunakan di dalam kehidupan seharian, tetapi persoalan tentang keberkesanan kaedah ini timbul apabila aspek pengoptimuman diambilkira. Justeru itu, kaedah GA dilihat dapat membantu penyelesaian



RAJAH 7. Plot Nilai Purata bagi Masa Pemasangan PCB



RAJAH 8. Plot Nilai Terbaik bagi Masa Pemasangan PCB

masalah penjadualan dengan mengoptimalkan objektif-objektif tertentu dan menghasilkan keputusan yang lebih baik.

PERBINCANGAN

Penjadualan pengeluaran merupakan sebahagian daripada aktiviti perancangan dan pengawalan unit pengeluaran, dan ianya berupaya mempengaruhi prestasi sesuatu organisasi pengeluaran. Keperluan kepada penjadualan yang efisien amat penting berikutan permintaan pasaran yang

begitu mendesak kepada produk-produk yang berkualiti, berkebolehsuaian yang tinggi serta masa pemasaran yang pendek.

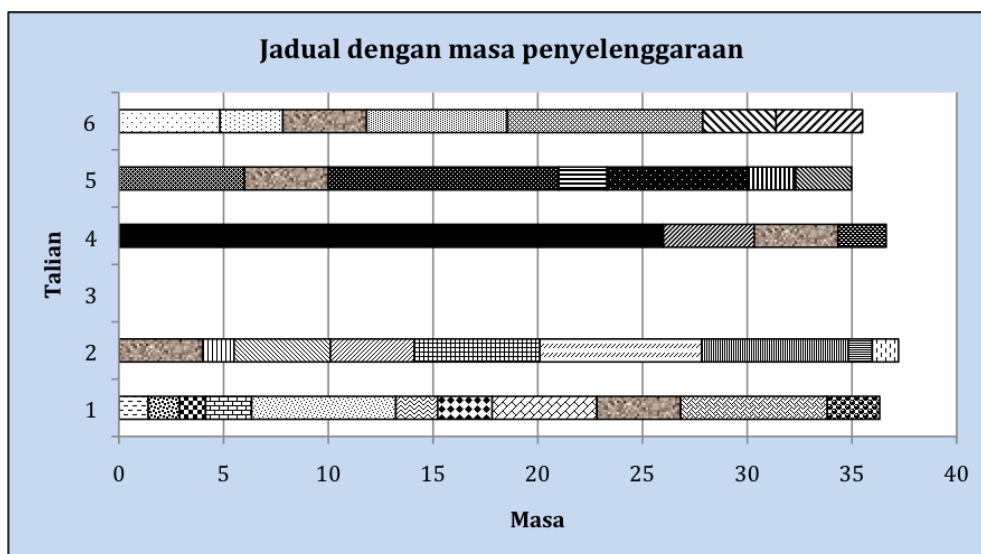
Dalam kajian ini beberapa eksperimen telah dijalankan bagi melihat bagaimana kaedah GA dapat digunakan bagi mengatasi masalah penjadualan di samping berfungsi sebagai alat pengoptimuman. Data sebenar telah digunakan bagi menguji algoritma yang dibangunkan. Ia bertujuan untuk melihat isu pengintegrasian proses perancangan dan penjadualan dalam situasi pengeluaran sebenar. Dalam kajian kes ini, pengintegrasian proses perancangan dan

JADUAL 2. Masa Pemasangan (Jam) di Talian bagi Kaedah Algoritma Genetik

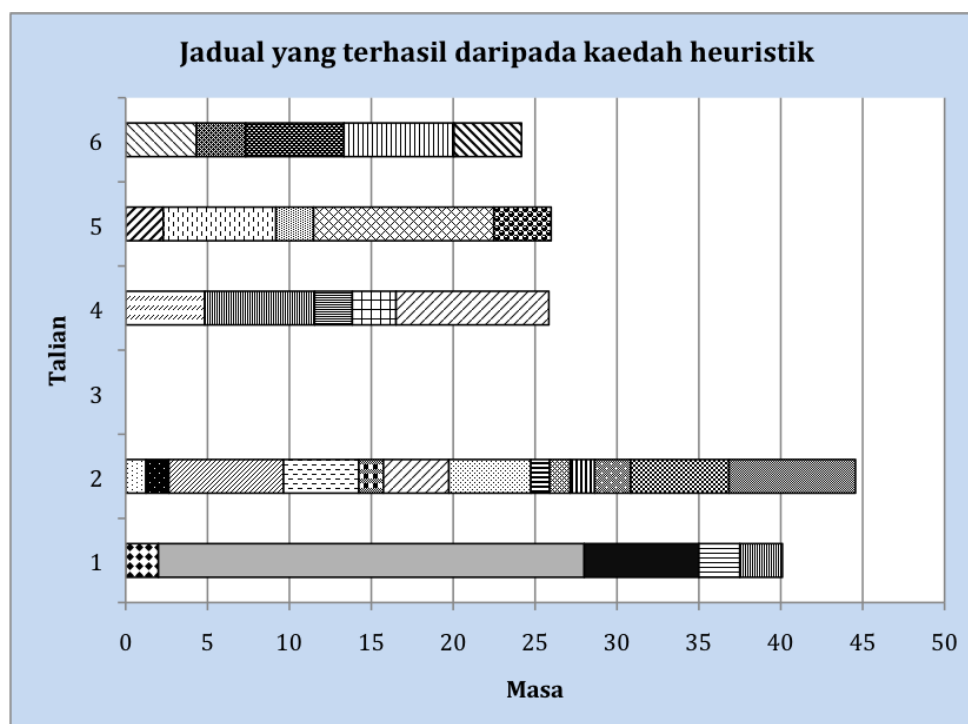
L1	L2		L4		L5		L6	
	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model
HMN4044E	7.00	HLN5342E	2.50	PMTN4022B	9.33	4012(T)	6.71	MANDOWN4150(T)
3852	1.25	8300	2.00	9395(T)	4.12	GENESISFLEX4568	26.00	4012(B)
9313(B)	5.00	3502	1.15	GCN6113B(T)	6.88			GCN6121A(T)
8075	2.30	4322(B)	2.60	HMN3413A	2.67			MANDOWN4150(B)
8070	7.00	8301	2.20	GCN121A(B)	4.83			GMN6146C
3848	1.50	HLN5402C(B)	7.72	9395(B)	3.50			HLB4101(T)
HLN5343CSP01	1.24	8029	4.60					
HLB4101B(B)	6.00	GCN6120(T)	4.33					
HLN5342ESP01	1.50	NTN4633C	4.00					
			1.40					
Jumlah masa pemasangan	32.79		32.50		31.34		32.71	31.31

JADUAL 3. Keputusan bagi Kaedah Insani Berbanding Kaedah GA

Talian	Insani	Kaedah	GA
L1	38 (35.91)		32.79
L2	39 (37.72)		32.50
L4	46 (36.00)		31.34
L5	41 (33.26)		32.71
L6	46 (17.75)		31.31



RAJAH 9. Carta Gantt bagi Jadual dengan Masa Penyelenggaraan



RAJAH 10. Carta Gantt yang Terhasil dengan Menggunakan Kaedah Peraturan Penghantaran

JADUAL 4. Masa Pemasangan (Jam) di Talian bagi Jadual dengan Masa Penyenggaraan

L1		L2		L4		L5		L6	
Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa
5172(B)	1.40	PM	4.00	GENESISFLEX4568	26.00	HLB4101(T)	6.00	GCN121A (B)	4.83
HLN5342ESP01	1.50	3848	1.50	GCN6120(T)	4.33	PM	4.00	GCN6121A(T)	3.00
HLN5343CSP01	1.24	8029	4.60	PM	4.00	GMIN6146C	11.00	PM	4.00
8301	2.20	NTN4633C	4.00	MANDOWN4150(T)	2.30	8075	2.30	4012(B)	6.71
GCN6113B(T)	6.88	HLB4101B(B)	6.00			4012(T)	6.71	PMTN4022B	9.33
8300	2.00	HLN5402C(B)	7.72			MANDOWN4150 (B)	2.30	9395(B)	3.50
4322(B)	2.60	HMIN4044E	7.00			HMIN3413A	2.67	9395(T)	4.12
9313(B)	5.00	3502	1.15						
PM	4.00	3852	1.25						
8070	7.00								
HLN5342E	2.50								
Jumlah masa pemasangan	36.32		37.22		36.63		34.98		35.50

JADUAL 5. Masa Pemasangan (Jam) di Talian dengan Kaedah Peraturan Penghantaran

L1		L2		L4		L5		L6	
Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa	Model	Masa
8300	2.00	HLN5342ESP01	1.24	GCN121A(B)	4.83	MANDOWN4150 (B)	2.3	GCN6120(T)	4.33
GENESISFLEX4568	28.00	5127B	2.64	4012(T)	11.54	GCN6113B(T)	9.18	GCN6121A (T)	7.33
8070	35.00	HMN4044E	9.64	MANDOWN4150 (T)	13.84	8075	11.48	HLB4101B (B)	13.33
HLN5342E	37.50	8029	14.24	HMN3413A	16.51	GMN6146C	22.48	4012(B)	20.05
4322(B)	40.10	HLN5342ESP01	15.74	PMTN4022B	25.84	9395(B)	25.98	9395(T)	24.17
		NTN4633C	19.74						
		9313(B)	24.74						
		3502	25.89						
		3852	27.14						
		3848	28.64						
		8301	30.84						
		HLB4101B(B)	36.84						
		HLN5343CSP01	44.56						
Jumlah masa pemasangan	40.10		44.56		25.84		25.98		24.17

penjadualan dilihat dengan mengambilkira talian-talian alternatif semasa penjaan penjadualan dilakukan.

Formulasi GA yang melibatkan perwakilan kromosom dan operator-operator genetik, iaitu persilangan dan mutasi yang baru telah dibangunkan dan disesuaikan untuk masalah ini. Kromosom yang digunakan merupakan satu perwakilan terus, ia menyenaraikan model serta talian pemasangan. Operator persilangan pula menukar maklumat antara dua induk terpilih disamping mengekalkan kekangan yang ada iaitu model yang akan dibina tidak berulang dalam senarai kromosom. Mutasi pula beroperasi dengan menukarkan talian pada model terpilih kepada talian alternatif lain.

Keputusan simulasi yang dijalankan menunjukkan kaedah GA berupaya menangani masalah pengintegrasian dalam kajian kes ini. Perbandingan kaedah GA dengan kaedah insani menunjukkan kaedah GA berupaya menghasilkan jadual dengan masa pemasangan yang lebih singkat dan taburan beban kerja yang lebih sekata di setiap talian. GA juga merupakan kaedah yang boleh-suai dalam aspek penambahan elemen seperti masa penyelenggaraan dapat dilakukan dengan mudah. Ini dapat membantu individu terbabit dalam proses perancangan penjadualan merancang aktiviti selanjutnya. Kaedah yang dicadangkan menunjukkan keputusan yang boleh diterima dalam mengimbangi beban kerja pada talian-talian berdasarkan keboleharapan mesin-mesin tertentu.

Satu kaedah perbandingan juga telah dibangunkan. Hasil keputusan menunjukkan kaedah GA berupaya mengatasi kaedah peraturan penghantaran dengan menghasilkan jadual dengan masa pemasangan maksimum yang lebih baik.

KESIMPULAN

Isu pengoptimuman penjadualan serta aspek talian alternatif ini merupakan salah satu isu penting dalam perancangan pengeluaran. Dalam kajian kes ini, isu ini tidak diambilkira dalam penjaan jadual dalam situasi sebenar. Ini kerana penjaan jadual dibuat secara insani oleh individu yang menghasilkan peraturan PCB-PCB di talian-talian tertentu berdasarkan pengalamannya sahaja. Pendekatan yang dicadangkan ini boleh dilihat sebagai penyelesaian alternatif yang mengambilkira antara isu-isu penting dalam operasi pengeluaran. Cadangan kajian lanjut berkaitan keberkesana algoritma ini boleh dibuat dengan membanding hasil kajian dengan penyelidikan-penyelidikan terkini seperti kajian oleh Nguyen Van Hop dan Nagendra N. Nagarur (2004). Kajian juga boleh dikembangkan dengan mengambilkira parameter-parameter lain seperti masa sedia dan penghantaran, juga pelbagai objektif

yang diberi nilai pemberat seperti meminimumkan masa kelewatan dan masa pemprosesan keseluruhan (Wu & Ji, 2008).

RUJUKAN

- Dessouky, M. M., Adiga, S. & Parl, K. 1995. Design and scheduling of flexible assembly lines for printed circuit boards. *International Journal of Production Research* 33(3): 757-775.
- Duta, L., Filip, F. G., Henrioud, J.-M. & Popescu, C. 2008. Disassembly line scheduling with genetic algorithms. *International Journal of Computers, Communications & Control* 3 (3): 270-280.
- Han, S.-M., Beak, S.-W., Cho, K.-R., Lee, D.-W. & Kim, H. D. 2008. Satellite mission scheduling using genetic algorithm. *SICE Annual Conference 2008*, hlm. 1226-1230.
- McMullen, P. R., Peter, T. & Gregory, V. F. 2000. Using genetic algorithms to solve the multi-product JIT sequencing problem with set-ups. *International Journal of Production Research* 38(12): 2653-2670.
- Nguyen Van Hop & Nagendra N. Nagarur. 2004. The scheduling problem of PCBs for multiple non-identical parallel machines. *European Journal of Operational Research* 158 : 577-594.
- Smed, J., Mika, J., Tommi, J. & Olli, N. 1999. Techniques and applications of production planning in electronics manufacturing systems. TUCS Technical Report, Tunku Centre for Computer Science, University of Turku, Finland, No. 320.
- Yongzhong Wu1 & Ping Ji. August 2009. A scheduling problem for PCB assembly: a case with multiple lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 4(11-12): 1189-1201.

Zalinda Othman
Center for Artificial Technology (CAIT)
Pusat Pengajian Teknologi Maklumat,
Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor
Malaysia

*Corresponding author; e-mail: zalinda@ftsm.ukm.my

Received Date : 19th July 2009

Received Date : 5th April 2010