

KAJIAN TERHADAP KESAN ISU-ISU DINAMIK TERHADAP
MASALAH PENJADUALAN DI PERSEKITARAN KERJA
FLOW SHOP

*(ANALYSIS OF THE EFFECT OF DYNAMIC ISSUES IN
SCHEDULING OF FLOW SHOP ENVIRONMENT)*

Oleh

FAHARUDIN BIN NGATMI

62122

Penyelia

DR. ZALINDA BT OTHMAN

4 Mac 2005

Disertasi ini dikemukakan kepada
Universiti Sains Malaysia

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat untuk pengijazahan dengan kepujian
SARJANA MUDA KEJURUTERAAN PEMBUATAN DENGAN PENGURUSAN



Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik
Kampus Kejuruteraan
Universiti Sains Malaysia

DEKLARASI

Kajian ini belum pernah diterima sebagai memenuhi mana-mana kelayakan pengijazahan dan tidak akan dihantar sejajar sebagai pencalonan mana-mana ijazah.

Tandatangan.....(calon)

Tarikh.....

KENYATAAN 1

Tesis ini adalah hasil penyiasatan saya sendiri melainkan yang dinyatakan sebaliknya. Sumber-sumber lain dihargai dengan memberi rujukan yang jelas. Rujukan/bibliografi adalah dilampirkan.

Tandatangan.....(calon)

Tarikh.....

KENYATAAN 2

Saya dengan ini memberikan kebenaran untuk tesis ini dibuat salinan dan pinjaman perpustakaan dalaman dan untuk tajuk dan rumusan yang didapati di luar organisasi ini.

Tandatangan.....(calon)

Tarikh.....

PENGHARGAAN

Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan izin-Nya saya berjaya menyiapkan projek tahun akhir ini sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat untuk pengijazahan. Di sini saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada keluarga dan ibu bapa tercinta kerana telah memberi galakan dan didikan yang sungguh bermakna kepada saya. Saya juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada mereka yang memberi bimbingan kepada saya, khususnya kepada penyelia saya, Dr. Zalinda Othman dan semua pensyarah Kejuruteraan Mekanik serta semua pensyarah di Universiti Sains Malaysia yang pernah mengajar saya.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua kakitangan Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik dan juruteknik-juruteknik yang banyak membantu menyiapkan projek tahun akhir ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih kepada rakan-rakan yang sudi memberi bantuan kepada saya dalam menjayakan projek ini. Akhir sekali, terima kasih diucapkan kepada individu-individu yang terlibat secara langsung atau tidak langsung sepanjang projek ini dijalankan. Sumbangan dan idea mereka amatlah saya hargai dan diharap segala usaha kita ini mendapat keberkatan daripada-Nya.

KANDUNGAN

	Mukasurat
Senarai Jadual	i
Senarai Rajah	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
BAB 1	
PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif Kajian	2
1.3 Skop Kajian	3
1.4 Ringkasan Tesis	4
BAB 2	
KAJIAN ILMIAH	
2.1 Penjadualan <i>Flow Shop</i>	5
2.1.1 Penjadualan <i>Flow Shop</i> Statik	6
2.1.2 Penjadualan <i>Flow Shop</i> Dinamik	6
2.2 Pengukuran Prestasi	7
2.3 Isu-isu Dinamik	8
2.4 Peraturan Penghantaran	8
2.5 Kaedah Penyelesaian	10
BAB 3	
KAEDAH KAJIAN	
3.1 Pembangunan Model Simulasi WITNESS	14
3.2 Istilah dan Notasi	17
3.3 Pengukuran Prestasi	18
3.3.1 Jumlah <i>Makespan</i>	18
3.3.2 <i>Earliness</i> dan <i>Lateness</i>	18
3.3.3 <i>Min Flowtime</i>	19
3.4 Data Penjadualan	20
3.5 Peraturan Penghantaran	24
3.6 Parameter Gangguan	27

BAB 4

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Keputusan Simulasi	33
4.2	Perbincangan	38
4.2.1	Pemilihan peraturan penghantaran dan perbandingan nilai <i>makespan</i>	38
4.2.2	Perbandingan nilai <i>earliness</i>	39
4.2.3	Perbandingan nilai min <i>flowtime</i>	39
4.2.4	Isu dinamik yang paling banyak memberi kesan ke atas penjadualan	40

BAB 5

KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Kesimpulan	41
5.2	Cadangan	42

RUJUKAN	43
----------------	----

LAMPIRAN	46
-----------------	----

Senarai Jadual

Jadual 2.1 Peraturan keutamaan

Jadual 3.1 Data yang digunakan dalam kajian penjadualan *flow shop*

Jadual 3.2 Perincian laluan (*ROUTE*) bagi setiap tugas

Jadual 3.3 Jenis-jenis taburan yang biasa digunakan

Jadual 3.4 Taburan data yang digunakan bagi jenis gangguan kerosakan mesin

Jadual 3.5 Taburan data yang digunakan bagi jenis gangguan masa ketibaan rawak

Jadual 4.1 Analisis prestasi berdasarkan peraturan penghantaran SPT dengan isu dinamik kerosakan mesin

Jadual 4.2 Analisis prestasi berdasarkan peraturan penghantaran EDD dengan isu dinamik kerosakan mesin

Senarai Rajah

Rajah 1.1 Sistem *flow shop*

Rajah 3.1 Carta alir pembangunan kajian

Rajah 3.2 Lantai pengeluaran model simulasi WITNESS

Rajah 3.3 Perincian peraturan penghantaran SPT

Rajah 3.4 Perincian peraturan penghantaran EDD

Rajah 3.5 Perincian taburan untuk mengkaji gangguan kerosakan mesin dalam WITNESS

Rajah 3.6 Perincian taburan untuk mengkaji gangguan masa ketibaan tugas rawak dalam WITNESS

Rajah 4.1 Perbandingan masa penyiapan *makespan* setiap model simulasi

Rajah 4.2 Perbandingan masa *earliness* setiap model simulasi

Rajah 4.3 Perbandingan min *flowtime* setiap model simulasi

ABSTRAK

Tesis ini merupakan satu kajian terhadap kesan isu-isu dinamik terhadap masalah penjadualan yang berlaku di persekitaran kerja *flow shop*. Penjadualan *flow shop* ini di simulasi dengan dua isu dinamik berdasarkan dua peraturan penghantaran yang dipilih. Dua ciri dinamik yang dipilih adalah gangguan masalah kerosakan mesin dan masa ketibaan rawak bagi setiap tugas, manakala dua peraturan penghantaran yang dipilih adalah berdasarkan masa pemprosesan paling singkat (SPT) dan tarikh akhir siap paling awal (EDD). Model simulasi WITNESS dibangunkan untuk mengkaji masalah gangguan isu-isu dinamik dalam penjadualan *flow shop* ini. Model ini terdiri daripada enam tugas dan lima buah mesin yang disusun secara selari dengan konsep persekitaran kerja *flow shop* iaitu kerja-kerja pemprosesan tugas diproses dalam satu aliran kumpulan mesin. Kesimpulan yang boleh diperolehi daripada analisa keputusan yang dibuat adalah perbandingan isu dinamik yang paling banyak memberi kesan terhadap penjadualan *flow shop* dan pemilihan peraturan penghantaran yang patut dipilih iaitu peraturan yang memberikan masa penyiapan yang paling singkat, sekaligus memberikan kesan yang baik ke atas produktiviti suatu sistem pengeluaran.

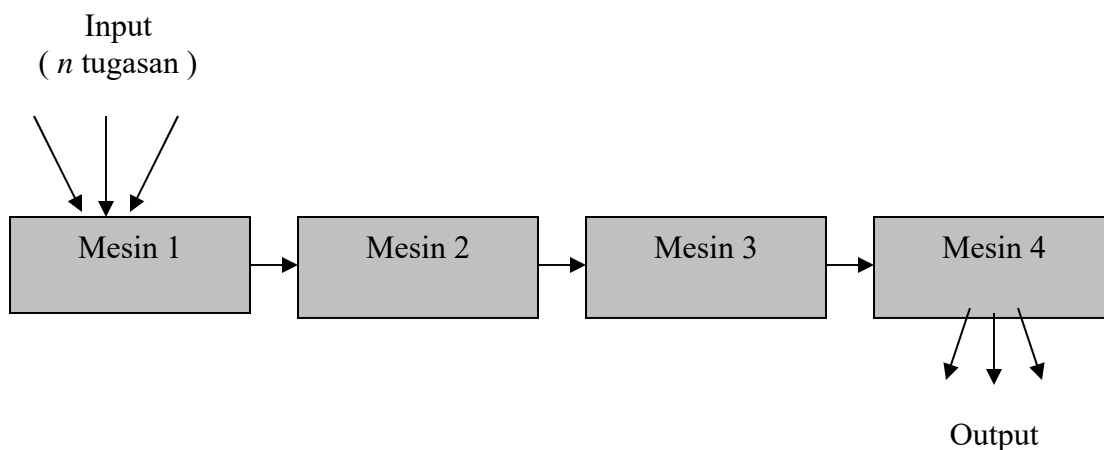
ABSTRACT

This thesis is a study about the effect of dynamic issues in scheduling of flow shop environment. This flow shop scheduling was simulated with two dynamic issues based on two dispatching rules. Two dynamic characteristics selected are disturbance problem of machine breakdown and random arrival time for each job, meanwhile two dispatching rules selected are based on short processing time (SPT) and earliest due date (EDD). WITNESS simulation model was built to investigate the disturbance problems of dynamic issues in this flow shop scheduling. This model has six jobs and five machines were arranged in parallel line with concept of flow shop environment, in which the jobs was processed in a group of machines. The conclusion that we can get from the result analysis is comparison dynamic issues mostly influence the flow shop scheduling and which dispatching rule should be selected especially the rule that give short completion time and therefore giving good effect to the productivity of production system.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Flow shop merupakan satu rekabentuk ruang kerja yang mana mesin-mesin disusun secara bersiri. Kerja-kerja dimulakan dengan kemasukan bahan mentah untuk diproses pada satu mesin permulaan, diikuti dengan beberapa mesin pertengahan dan diakhiri dengan mesin terakhir sebelum pengeluaran produk dapat dihasilkan. Contoh model *flow shop* boleh dihuraikan sebagai satu set proses kerja iaitu beberapa siri tugas yang mana kerja-kerja pemprosesan tugas tersebut diproses dalam satu aliran atau urutan kumpulan mesin. Susunan siri mesin-mesin ini melibatkan satu struktur ruang kerja seperti ditunjukkan di dalam Rajah 1.1. Rajah tersebut menunjukkan satu sistem *flow shop* yang mana kerja-kerja mestilah dilakukan secara berterusan pada setiap mesin. (Edward, et. al. 1998).



Rajah 1.1 Sistem *flow shop*

Secara amnya, bagi memudahkan kefahaman, andaikan satu sistem *flow shop* yang mengandungi 3 tugas dan 3 mesin. Setiap tugas akan mempunyai masa ketibaan dan tarikh akhir siap yang tertentu manakala setiap mesin pula akan mempunyai masa pemrosesan yang berbeza bagi setiap tugas. Pemrosesan bagi tugas ini mestilah mempunyai peraturan penghantaran yang ditetapkan. Sebagai contoh, pemilihan tugas secara rawak. Ini bermaksud, tugas yang akan diproses dahulu di mesin pertama dipilih secara rawak sama ada tugas 1, 2 atau 3. Contoh peraturan keutamaan adalah seperti tugas 1 diikuti tugas 2 dan akhir sekali tugas 3. Dalam kes ini, tugas 1 yang diproses dahulu mestilah mengikut urutan kumpulan mesin iaitu mesin 1 diikuti mesin 2 dan mesin 3 mengikut masa pemrosesan yang ditetapkan. Ini bermaksud, tugas bagi ruang kerja *flow shop* tidak boleh melangkah satu-satu mesin. Tugas 2 pula hanya boleh diproses di mesin 1 apabila tugas 1 di mesin 1 selesai dan begitu juga bagi tugas 3 dan seterusnya sehingga masa siap keseluruhan tugas diperolehi.

1.2 Objektif Kajian

Tesis ini merupakan satu kajian terhadap kesan isu-isu dinamik terhadap masalah penjadualan yang berlaku di persekitaran kerja *flow shop*. Isu-isu dinamik yang dibincangkan dalam tesis ini adalah gangguan masalah kerosakan mesin dan masalah masa ketibaan tugas yang rawak. Prestasi di dalam penjadualan *flow shop* diukur terhadap nilai pengukuran aturan keutamaan penghantaran. Di dalam kajian ini, aturan keutamaan penghantaran yang dipilih adalah masa pemrosesan yang paling singkat (SPT) dan tarikh akhir yang paling awal (EDD).

Projek ini juga bertujuan untuk menyelidik cara-cara bagaimana isu-isu dinamik memberi kesan langsung ke atas penjadualan *flow shop* yang dibuat mengikut peraturan penghantaran yang dipilih. Matlamatnya adalah mengenalpasti isu dinamik yang paling mempengaruhi dan memberi kesan kepada penjadualan dan peraturan yang memberikan masa penyiapan yang paling singkat. Bagi mencapai matlamat ini, projek ini perlulah menyelesaikan proses-proses seperti :

- a. Menganalisa dan menilai data-data kerja yang diberi kepada urutan proses mengikut peraturan keutamaan.
- b. Membina satu penjadualan yang mengambil kira kesan-kesan isu dinamik yang berlainan jenis dalam satu proses pengeluaran.
- c. Membangunkan model diskret simulasi menggunakan perisian WITNESS 2000.
- d. Menganalisa keputusan dan membuat kesimpulan tentang penjadualan yang dipilih.

1.3 Skop Kajian

Dalam kajian ini, penjadualan *flow shop* dimodel dengan dua ciri dinamik berdasarkan dua peraturan penghantaran yang di pilih. Dua ciri dinamik yang dipilih adalah gangguan masalah:

- Kerosakan mesin
- Masa ketibaan rawak bagi setiap tugas

Dua peraturan penghantaran yang di pilih dalam kajian ini adalah pemilihan kerja berdasarkan:

- Masa pemprosesan yang paling singkat atau SPT (*Shortest Processing Time*)
- Tarikh akhir siap paling awal atau EDD (*Earliest Due Date*)

1.4 Ringkasan Tesis

Secara umum, laporan tesis ini dibahagikan kepada beberapa bab dan bahagian. Bab-bab dalam tesis ini disusun mengikut urutan aktiviti dari mula mengenalpasti masalah sehingga perbincangan dan keputusan dalam mencapai objektif kajian. Dalam bab 1 ini, ia menerangkan secara jelas objektif dan skop selain pengenalan secara ringkas tentang kajian yang dibuat.

Seterusnya, bab kedua yang menyusul iaitu kajian ilmiah, membincangkan kajian-kajian yang pernah dibuat sebelum ini oleh penyelidik-penyelidik yang berkaitan dengan tajuk ini. Ia merangkumi pengenalan kepada *flow shop* yang statik dan dinamik, pengukuran prestasi, isu-isu dinamik, kaedah penyelesaian masalah dan seterusnya fokus kepada persekitaran dinamik

Bab 3 pula menerangkan tentang kaedah penyelesaian bagi masalah dalam kajian tesis ini. Satu simulasi akan dibangunkan menggunakan perisian WITNESS berdasarkan data-data yang dicipta sendiri. Data-data tersebut adalah data yang digunakan dalam penjadualan *flow shop* dan data yang membolehkan simulasi ini dimodel dengan ciri-ciri dinamik.

Dalam bab 4, ia membincangkan tentang analisa keputusan berdasarkan kaedah kajian yang dilakukan. Output bagi keputusan ini adalah perbandingan masa penyiapan bagi setiap peraturan penghantaran yang dipilih berdasarkan masa pemprosesan tugas di setiap mesin dan perbandingan analisa bagi pengukuran prestasi yang dinyatakan bagi isu-isu dinamik yang dikaji. Akhir sekali, cadangan dan kesimpulan tentang keputusan yang diperolehi dalam kajian ini dihuraikan dalam bab 5.

BAB 2 KAJIAN ILMIAH

2.1 Penjadualan *flow shop*

Secara umumnya, penjadualan boleh dijelaskan sebagai satu cara bagi memperuntukkan satu jangka masa tertentu untuk melaksanakan satu set tugas. Penjadualan melibatkan pelbagai peringkat seperti aktiviti pekerja, penggunaan mesin, urutan kerja serta koordinasi pengawalan dan penyelenggaraan peralatan (Shuhaiza, et. al. 2000). Semenjak dahulu lagi, masalah penjadualan telah menjadi kajian yang begitu meluas dikalangan penyelidik-penyelidik disebabkan ciri-cirinya yang agak sukar diselesaikan. Terdapat dua bentuk penjadualan iaitu penjadualan statik atau berketentuan (*deterministic*) dan penjadualan dinamik atau stokastik (*stochastic*) (Michel Gourgand, et. al. 2003).

Dalam masalah penjadualan yang statik, satu set tugas yang tiba adalah serentak di rantai pengeluaran dan boleh diproses oleh sekumpulan mesin serta merta sehingga tugas tersebut menjadi output bagi satu rantai pengeluaran. Penjadualan yang statik ini akan menjadi penjadualan yang dinamik apabila tugas-tugas yang tiba dan pengeluaran adalah secara berterusan. Jika pembolehubah dalam penjadualan ditetapkan, ia dikatakan masalah yang statik tetapi sebaliknya jika pembolehubah-pembolehubah seperti masa pemprosesan dan masa ketibaan tidak ditentukan iaitu hanya diketahui menerusi satu fungsi taburan, maka ia dikatakan dinamik. Masalah penjadualan pada mesin-mesin biasanya membincangkan dibawah andaian masa pemprosesan dan tarikh akhir yang mana ia menjadi lebih kompleks sekiranya pemprosesan tugas di setiap mesin beroperasi secara berterusan (Wei Li, et. al. 1997).

2.1.1 Penjadualan *flow shop* statik

Terdapat beberapa andaian yang boleh diambil kira dalam masalah penjadualan *flow shop* yang statik. Andaian yang telah dibuat oleh Michel Gourgand, et. al. (2003) terhadap sistem urutan *flow shop* yang statik adalah:

- tarikh pelepasan bagi setiap tugas diketahui
- setiap mesin sentiasa sedia untuk digunakan
- masa memproses adalah statik dan tidak bergantung kepada yang lain
- masa setup mesin dan pemindahan tugas termasuk dalam masa memproses
- setiap tugas tidak melangkau mana-mana mesin
- masa pengangkutan adalah diabaikan
- sesebuah mesin tidak boleh memproses lebih daripada satu tugas pada satu masa
- tidak ada tugas yang boleh diproses lebih daripada satu mesin pada satu masa
- diantara dua mesin, tugas-tugas tidak boleh menunggu pada buffer yang telah melebihi kapasiti

Masalah penjadualan *flow shop* statik ini adalah untuk mencari satu penjadualan tugas yang boleh mengambil kira ukuran prestasi seperti masa memprosesan tugas terakhir (*makespan*), jumlah *flow time*, *tardiness* dan sebagainya.

2.1.2 Penjadualan *flow shop* dinamik

Dalam konteks masalah penjadualan *flow shop* yang dinamik pula, andaian yang diambil kira adalah sama dengan andaian penjadualan statik kecuali tiga andaian pertama yang diutarakan dalam penjadualan statik ditukar dengan andaian-andaian berikut:

- tarikh pelepasan tugas tidak diketahui
- mesin boleh mengalami kerosakan
- masa memproses di model bergantung kepada pembolehubah rawak

2.2 Pengukuran prestasi

Masalah penjadualan kebanyakannya sering kali disifatkan sebagai jujukan n tugas pada m mesin dimana beberapa kriteria pengukuran prestasi adalah dioptimumkan (W. Ferrell, et. al. 2000). Daripada prespektif seorang pengurus, mengenalpasti pengukuran prestasi untuk digunakan dalam pemilihan suatu penjadualan adalah sangat penting (Krajewski, et. al. 2002). Di dalam penjadualan, kekangan masa merupakan masalah yang paling dititikberatkan dan merupakan pengukuran prestasi yang paling penting dalam membangunkan penjadualan yang terbaik. Oleh sebab itu, semua penggunaan sumber dan aktiviti pengeluaran perlu dijadualkan sebaik mungkin supaya kerja-kerja proses menjadi cekap dan tersusun mengikut masa yang ditetapkan.

Sebelum ini, banyak kajian yang telah dibincangkan mengenai kesan-kesan isu dinamik terhadap masalah-masalah penjadualan di persekitaran ruang kerja *flow shop*. Masalah-masalah ini timbul adalah disebabkan untuk mendapatkan penjadualan yang secepat mungkin bagi proses-proses sesebuah mesin atau keseluruhan mesin. Penjadualan yang cekap memerlukan penggunaan masa yang terbaik dan paling minimum. Matlamatnya adalah untuk mengoptimakan sumber-sumber yang ada dengan menghadkan tempoh masa dengan tujuan untuk mencapai kos pengeluaran yang paling minimum. Edward, et.al. (1998) telah menspesifikasikan tiga matlamat umum dalam pengukuran prestasi iaitu:

1. Purata masa kerja-dalam-proses (WIP); ia berkaitan dengan masa yang digunakan dalam satu-satu tugas seperti *flowtime* (masa satu proses yang digunakan dari saat tugas mula diproses sehingga siap termasuk masa menunggu) dan *makespan* (jumlah keseluruhan masa semua proses dari mula hingga akhir).
2. Pengukuran prestasi yang berkaitan dengan masa akhir proses; ini termasuklah masa lewat (*lateness*), masa cepat (*earliness*) dan masa terlepas (*tardiness*).
3. Pengukuran dalam penggunaan mesin dan pekerja; penggunaan ini dinilai bagi menentukan masa pemprosesan kerja-kerja yang digunakan.

2.3 Isu-isu dinamik

Masalah sesuatu penjadualan bagi satu proses pembuatan adalah disebabkan oleh gangguan-gangguan atau pun isu-isu dinamik yang boleh menjejaskan kelangsungan operasi. Secara tidak langsung, ia akan memberi kesan terhadap prestasi pengeluaran proses pembuatan tersebut. Mengikut kajian yang telah dilakukan sebelum ini, bentuk-bentuk gangguan yang dikenalpasti boleh mengganggu prestasi proses pembuatan (Chong, et. al. 2002) adalah :

- a. Gangguan jenis – contoh: mesin rosak, penambahan kerja, masa penyiapan yang tidak tentu, dan perubahan masa memproses.
- b. Gangguan saiz – contoh: gangguan yang boleh menyebabkan jangkamasa proses menjadi lebih singkat atau panjang disebabkan mesin rosak
- c. Gangguan jarak masa – contoh: jangkamasa (min dan sisihan piawai) antara dua gangguan yang mana boleh mempercepatkan frekuensi gangguan.
- d. Gangguan kadar kejadian – contoh: masa yang boleh menyebabkan awal atau lewat dalam suatu penjadualan.
- e. Gangguan pemberitahuan awal – contoh: mendapat pesanan penting dengan tiba-tiba tanpa pemberitahuan awal yang menyebabkan masa proses sebenar terganggu.

2.4 Peraturan Penghantaran

Terdapat beberapa kesan isu-isu dinamik terhadap masalah penjadualan yang berlaku di persekitaran kerja *flow shop* seperti mesin rosak, penambahan kerja dan sebagainya. Oleh sebab itu, peraturan rangkaian keutamaan perlu diambil kira bagi mendapatkan penjadualan yang terbaik.. Peraturan penghantaran bagi rangkaian keutamaan ini dibangunkan adalah untuk dijadikan garis panduan bagi menentukan urutan dalam setiap proses-proses kerja yang akan dilaksanakan. Jadual 2.1 menunjukkan beberapa peraturan penghantaran yang biasa digunakan dalam penjadualan (Edward, et.al.1998).

Jadual 2.1 Peraturan keutamaan

Peraturan Keutamaan	Maksud	Singkatan
<i>Random</i>	Memilih kerja secara rawak	Random
<i>First-Come-First-Served</i>	Memilih kerja berdasarkan pesanan bahan yang sampai dahulu.	FCFS
<i>Shortest processing time</i>	Memilih kerja berdasarkan masa pemprosesan yang paling singkat.	SPT
<i>Longest processing time</i>	Memilih kerja berdasarkan masa pemprosesan yang paling lama.	LPT
<i>Shortest weighted processing time</i>	Memilih kerja berdasarkan masa memprosesan yang paling singkat dan nilai kerja tersebut (seperti kos pemegangan dan kos penangguhan).	SWPT
<i>Earliest due date</i>	Memilih kerja berdasarkan tarikh akhir siap paling awal.	EDD
<i>Minimum slack</i>	Memilih kerja berdasarkan nilai <i>slack</i> yang paling kecil	MS
<i>Critical ratio</i>	Pengiraan Nisbah (Masa memproses sehingga siap / (masa akhir siap – masa semasa) dan memilih kerja berdasarkan nisbah yang paling tinggi.	CR

2.5 Kaedah penyelesaian

Sejak berdekad lalu, ramai penyelidik telah membuat kajian dan analisis mengenai masalah penjadualan di situasi industri pembuatan, tetapi sehingga kini hanya segelintir sahaja yang boleh mencapai kepada penyelesaian masalah kuantiti ini pada situasi pembuatan sebenar. Perkara utama dalam penyelesaian masalah asas penjadualan ini adalah masalah NP yang lengkap (*NP-complete*) pada kebanyakan formulasi realistik (W. Ferrell Jr., et. al. 2000).

Terdapat beberapa cara atau kaedah yang digunakan oleh penyelidik-penyelidik dalam menyelesaikan masalah isu-isu dinamik dalam penjadualan. Antara kaedah penyelesaian yang pernah diberi perhatian oleh pengkaji-pengkaji seperti ahli penyelidikan operasi dan pengeluaran, ahli sains pengurusan dan ahli matematik adalah seperti berikut:

- Formulasi matematik; contohnya aturcara integer
- Algoritma cabang dan sempadan; contohnya formula pengaturcaraan integer tercampur (*mixed-integer programming formulation*)
- Algoritma penghampiran; contohnya Pencarian Tabu, *Simulated Annealing* dan Genetik Algoritma
- Kecerdikan buatan (AI); contohnya *Expert system*
- Logik Fuzzy
- Peraturan penghantaran; contohnya *Short Processing Time, Earliest Due Date*

Kebanyakan cara bagi mengatasi masalah penjadualan adalah dengan menggunakan teknik-teknik matematikal dan formula-formula algoritma. Masalah yang berkaitan dengan penjadualan ini boleh diformulasikan menggunakan aturcara integer, gabungan integer atau pun aturcara dinamik. Sub-kategori bagi teknik-teknik matematikal ini termasuklah *Decomposition Strategies, Enumerative Techniques* dan *Langrarian Relaxation*.

Soukhal, et. al. (2003) telah membincangkan mengenai masalah penjadualan beberapa proses kerja di *flow shop* sel robotik. Mereka menganggapkan proses kerja yang tiada tempat meletak sementara (*buffer*) bahan yang sedang diproses diantara dua mesin. Maka, kerja-kerja memproses telah terhalang dengan bahan-bahan ini apabila terdapat mesin-mesin yang terlalu sibuk.

Bagi mengatasi masalah ini, mereka telah memperkenalkan satu model aturcara integer untuk mengenalpasti urutan proses yang terbaik supaya masa penyiapan dapat diminimumkan. Walaubagaimanapun, bagi menangani masalah yang lebih besar dan rumit, kaedah ini perlu disesuaikan dengan kaedah Algoritma Genetik (GA) bagi mendapatkan urutan yang lebih baik. Bagi menyelesaikan masalah ini, mereka menilai ukuran pretasi dengan membandingkan dengan had bawah.

Sistem aturcara integer dan GA ini juga telah dibincang secara meluas oleh Akkan, et. al. (2003). Mereka telah membincangkan mengenai masalah jumlah masa penyiapan dua mesin *flow shop*. Bagi meminimumkan jumlah masa penyiapan, mereka telah memperkenalkan sistem algoritma cabang dan penghad bawah (*branch-and-bound algorithm*) yang baru berdasarkan masalah rangkaian formulasi. Sistem ini menggunakan formulasi aturcara gabungan-integer (*mixed-integer programming*). Rangkaian formulasi suatu set proses kerja boleh dikurangkan dengan membuat ujian-ujian pengiraan dimana sistem algoritma ini boleh menyelesaikan masalah seperti mengurangkan 60 tugas kepada 45 tugas dengan masa memprosesnya dapat dibahagikan secara seragam.

Varadharajan, et. al. (2004) pula menerangkan mengenai cara untuk meminimumkan masa makespan dan jumlah masa *flowtime* apabila terdapat perubahan susunan ruang kerja *flow shop* dengan menggunakan algoritma MOSA iaitu *Multi-Objective Simulated-annealing Algorithm*. Algoritma MOSA ini adalah satu kaedah algoritma yang cuba menyelesaikan satu fungsi yang sukar melalui perlaksanaan fungsi kemungkinan yang mudah dengan menjana pendekatan optimal Pareto.

Ahmet Bolat, et. al. (2003) membincangkan mengenai penjadualan *flow shop* untuk tiga siri stesen dengan stesen terakhir digandakan (*duplicate*) Bagi situasi ini, mereka mengambil pengukuran prestasi seperti masa penyiapan (*makespan*), cabang dan had, dan dua prosedur *heuristic*. Setakat ini, dua kawalan kriteria dibangunkan bagi menghasilkan penjadualan yang optimal dalam ruang kerja yang bersiri. Dalam kajian dan eksperimen-eksperimen pengiraan yang telah dijalankan, mereka telah mendedahkan bahawa Algoritma Genetik boleh digunakan untuk memperolehi satu penyelesaian yang efektif untuk mana-mana saiz masalah dalam masa yang agak singkat.

Soukhal, et. al. (2003) sekali lagi telah membincangkan mengenai masalah penjadualan dalam ruang kerja *flowshop* yang kompleks. Mereka telah mengambil kira tentang masalah mengenai kekangan kenderaan yang berlaku di persekitaran ini. Dalam kebanyakan sistem pembuatan dan pengagihan, kerja-kerja separuh siap akan dipindahkan dari satu stesen pemprosesan ke stesen yang lain dengan menggunakan kenderaan antaranya seperti AGV (*Automated Guided Vehicles*), robotik dan alat pengangkut (*conveyor*), dan juga lori atau trak yang biasa digunakan untuk pemindahan produk yang telah siap sepenuhnya.

Dalam kajiannya, mereka menyelidik mengenai masalah penjadualan dua mesin *flow shop* yang menggunakan kenderaan dan dijadualkan ke dalam laporan. Produk yang telah siap akan dipindahkan dari fasiliti pemprosesan dan dihantar ke pengguna menggunakan trak. Kapasiti dan masa perjalanan trak ini dengan jelas akan dijadualkan ke dalam laporan. Mereka mengkaji masalah *flowshop* ini menggunakan analisis yang agak kompleks. Bagi fungsi objektif *makespan*, mereka membuktikan bahawa masalah ini adalah *stronglyNP-hard* apabila kapasiti bagi trak ini terhad kepada dua atau tiga bahagian dengan bahagian yang tidak terhad ditempatkan pada output setiap mesin. Kekangan lain dalam masalah ini, seperti halangan daripada peruntukan *buffer* juga dibuktikan sebagai *stronglyNP-hard*.

Parthasarati Dileepan (2004) telah mengenalpasti masalah penjadualan kerja bagi dua mesin *flow shop* tidak tunggu (*no-wait*) iaitu masa menunggu diantara mesin pertama dan kedua tidak diberikan. Masalah ini merupakan masalah kelas *NP-Hard*. Kaedah cabang dan had dan *heuristics* dibangunkan bagi kriteria penjadualan *makespan* dan jumlah *flowtime*. Beberapa keputusan teoritikal ditunjukkan bagi masalah meminimumkan *lateness* yang dijadikan ukuran prestasi penjadualan mereka. Allahvedi, et. al. (2002) telah mengambilkira masalah ini dengan meminimumkan jumlah masa *flowtime* di dalam kriteria penjadualannya menggunakan beberapa formulasi matematik. Dengan pendekatan formulasi ini, Dileepan telah mengubah kriteria penjadualan dengan meminimumkan masa kelewatan proses yang paling maksimum.

BAB 3 KAEDAH KAJIAN

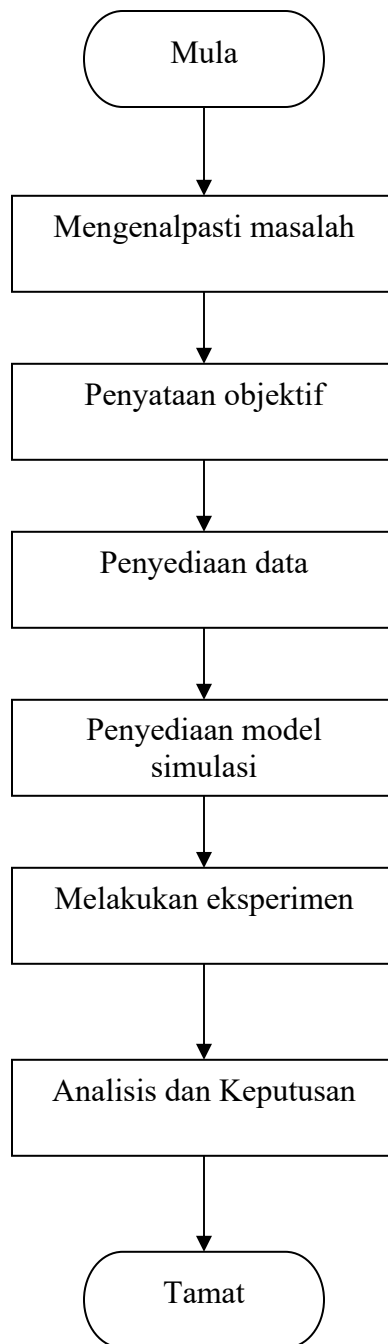
3.1 Pembangunan Model Simulasi WITNESS

WITNESS adalah satu pakej perisian simulasi Kumpulan Lanner. Simulasi WITNESS ini merupakan kemuncak daripada pengalaman beberapa dekad dalam pembangunan simulasi berdasarkan komputer. Pengalaman dan kajian yang luas dalam pembangunan simulasi ini telah membawa pereka perisian mengkaji bagaimana mengembangkan visual, interaktif dan pendekatan tafsiran kepada bentuk simulasi tanpa memerlukan penyusunan sebenar.

Kelebihan-kelebihan menggunakan pendekatan WITNESS ini antaranya adalah:

- Model-model simulasi boleh dibina dan diuji dalam paparan kawasan yang agak kecil dimana ia memudahkan model dibina secara teratur dan rapi.
- Berupaya mengenalpasti kesalahan dalam logik aturcara simulasi dengan cepat dan membuat model ini lebih tepat dan berkesan.
- Model boleh diubah pada bila-bila masa semasa simulasi sedang dijalankan bagi mendapatkan pembangunan model simulasi yang paling berkesan.

Bagi kajian di dalam tesis ini, ia mengkaji bagaimana isu-isu dinamik dapat memberi kesan kepada penjadualan *flow shop* dimana ia dibuat berdasarkan peraturan penghantaran. Dua peraturan penghantaran telah digunakan dalam kajian ini iaitu pemilihan penghantaran tugas berdasarkan masa pemrosesan yang paling singkat dan pemilihan berdasarkan tarikh akhir tugas yang paling awal. Tesis ini juga memilih dan mengkaji bagaimana dua isu dinamik memberi kesan terhadap prestasi penjadualan *flow shop*. Dua isu dinamik itu adalah kerosakan mesin dan masa ketibaan rawak bagi setiap tugas. Rajah 3.1 menunjukkan carta alir pembangunan kajian simulasi dari mula mengenalpasti masalah sehingga analisis dan kesimpulan dapat dibuat.



Rajah 3.1 Carta alir pembangunan kajian

Model simulasi WITNESS dibangunkan untuk mengkaji masalah gangguan isu-isu dinamik dalam penjadualan *flow shop* ini. Menggunakan perisian WITNESS ini, enam eksperimen dalam sebuah model simulasi telah dibangunkan mengikut peraturan penghantaran dan isu dinamik yang ditetapkan. Eksperimen bagi model simulasi tersebut adalah:

1. Eksperimen pertama berdasarkan peraturan penghantaran SPT sahaja.
2. Eksperimen kedua berdasarkan peraturan penghantaran EDD sahaja.
3. Eksperimen ketiga berdasarkan peraturan penghantaran SPT dengan isu dinamik masa ketibaan rawak.
4. Eksperimen keempat berdasarkan peraturan penghantaran EDD dengan isu dinamik masa ketibaan rawak.
5. Eksperimen kelima berdasarkan peraturan penghantaran SPT dengan isu dinamik kerosakan mesin.
6. Eksperimen keenam berdasarkan peraturan penghantaran EDD dengan isu dinamik kerosakan mesin.

Berdasarkan kepada enam eksperimen ini, masalah gangguan isu-isu dinamik yang dipilih dapat dikaji dan dianalisis mengikut pengukuran prestasi. Setiap eksperimen akan mempunyai nilai ukuran prestasi yang berbeza antara satu sama lain. Oleh sebab itu, perbandingan ukuran prestasi ini boleh dibincangkan tentang bagaimana isu-isu dinamik ini boleh mengganggu masalah penjadualan berdasarkan perbezaan nilai pengukuran setiap eksperimen. Bagi eksperimen pertama dan kedua, kedua-duanya adalah model simulasi yang unggul (*ideal*) iaitu tiada isu dinamik yang mengganggu dalam penjadualan, tetapi dalam industri pengeluaran sebenar, situasi sebegini mungkin tidak akan berlaku kerana ada sahaja isu-isu dinamik yang akan mengganggu proses aliran sesuatu pengeluaran.

3.2 Istilah dan Notasi

Satu sistem susunan *flow shop* yang statik boleh diandaikan sebagai satu set m mesin dan n tugas. Tugas n akan diproses menggunakan beberapa mesin dalam pesanan yang sama (mesin 1, mesin 2, ..., mesin m). Setiap tugas i ($i = 1, 2, \dots, n$) akan diproses oleh setiap mesin j ($j = 1, 2, \dots, m$) pada operasi masa pemrosesan p_{ij} (M. Gourgand et. al., 2003)

Dalam kajian ini, *flow shop* dimodel dengan 2 ciri dinamik iaitu kerosakan mesin dan masa ketibaan tugas yang rawak. Bagi penerangan yang lebih jelas tentang kaedah yang akan digunakan dalam kajian ini, simbol-simbol yang akan digunakan sepanjang tesis ini adalah:

i	:	indeks untuk tugas
j	:	indeks untuk mesin
n	:	bilangan tugas
m	:	bilangan mesin
p_{ij}	:	masa pemrosesan untuk tugas i pada mesin j
a_{ij}	:	masa ketibaan untuk tugas i pada mesin j
d_i	:	tarikh akhir untuk tugas i
b_j	:	masa kerosakan pada mesin j
C_i	:	masa siap bagi tugas i
F_i	:	masa aliran bagi tugas i
E_i	:	<i>earliness</i> untuk tugas i
L_i	:	<i>lateness</i> untuk tugas i
T_i	:	<i>tardiness</i> untuk tugas i
MS	:	masa siap keseluruhan (<i>total makespan</i>) bagi n tugas
MF	:	min masa aliran (<i>mean flowtime</i>) bagi n tugas

3.3 Pengukuran Prestasi

3.3.1 Jumlah *Makespan* (MS)

Makespan boleh didefinisikan sebagai masa penyiapan tugas terakhir untuk meninggalkan sistem. Mengikut Krajewski et. al. (2000), *makespan* adalah jumlah masa yang diperlukan untuk menyiapkan satu kumpulan tugas. *Makespan* boleh diungkapkan sebagai:

MS = masa untuk menyiapkan tugas terakhir – masa permulaan tugas pertama

Masa penyiapan yang paling minimum akan menjadikan ia sebagai prestasi yang paling baik dan nilai penggunaan bagi setiap mesin yang paling tinggi.

$$MS = \max(C_i, \dots, C_n) \text{ of job } i (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

3.3.2 *Earliness* dan *Lateness*

Earliness dan *Lateness* merupakan salah satu sifat tarikh akhir (*due date*) bagi setiap tugas yang mana ia sangat berkaitan dengan objektif dalam penjadualan *flow shop*. Dalam penjadualan *flow shop*, setiap tugas akan diproses melalui setiap mesin tanpa melangkau mana-mana mesin tertentu. Setiap mesin akan memproses tidak lebih daripada satu tugas dan mesti diproses mengikut urutan laluan didalam jadual yang telah ditetapkan. Setiap tugas mempunyai masa pemprosesan yang berbeza dan tarikh akhir yang berbeza-beza. Tarikh akhir setiap tugas merupakan lingkungan masa yang perlu disiapkan sebelum tarikh tersebut. Tarikh akhir merupakan salah satu aplikasi utama dalam anggaran pengiraan *flowtime* bagi rangkaian tugas (Sabuncuoglu dan Comlekci, 2002)

Earliness didefinisikan sebagai masa penyiapan yang lebih awal dari tarikh akhir bagi satu set tugas (tugas A,B,C,D,E,F) manakala *lateness* pula adalah sebaliknya. *Lateness* juga biasanya boleh disamakan dengan istilah *tardiness*. Bagi mengetahui satu set tugas itu sama ada *earliness* mahupun *lateness* bagi tugas i , satu rumus matematik boleh diungkapkan sebagai;

$$\text{Lateness: } L_i = C_i - d_i \quad (2)$$

$$\text{Earliness: } E_i = C_i - d_i \quad (3)$$

dimana C_i = masa penyiapan bagi tugas i , dan
 d_i = tarikh akhir bagi tugas i

Jika perbezaan d_i dan C_i ini mempunyai nilai yang lebih besar daripada 0, maka set tugas bagi penjadualan ini dapat disiapkan dalam masa yang awal berbanding tarikh akhir iaitu ia boleh disifatkan sebagai *earliness*, manakala jika perbezaan tersebut mempunyai nilai yang lebih kecil daripada 0, ia merupakan masa penyiapan yang *lateness* iaitu set tugas tidak dapat disiapkan sehingga tarikh akhir bagi tugas yang terakhir tiba.

3.3.3 Min *flowtime* (MF)

Flowtime boleh didefinisikan sebagai masa satu proses yang digunakan dari saat tugas mula diproses sehingga siap termasuk masa menunggu. *Flowtime* bagi satu tugas adalah perbezaan antara masa siap keseluruhan dengan masa tugas apabila operasi pertama diproses. Berdasarkan pada persamaan yang digunakan oleh Sabuncuoglu dan Comleki (2002), MF boleh ditaksirkan sebagai:

$$MF = \sum_{i=1}^n F_i / n \quad (4)$$

dimana F_i = masa aliran bagi tugas i

n = bilangan tugas

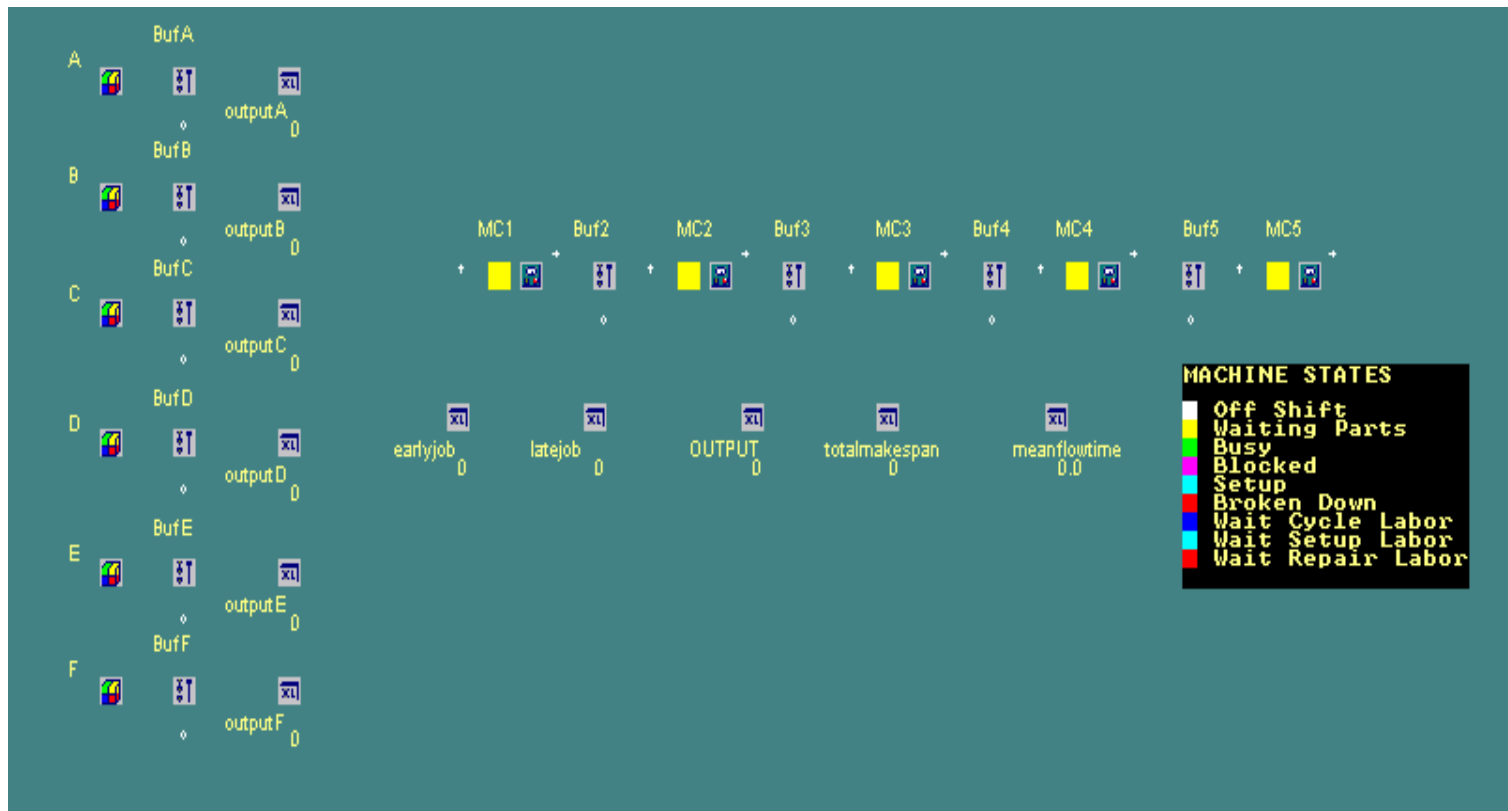
3.4 Data Penjadualan

Dalam kajian ini, model lantai pengeluaran *flow shop* terdiri daripada 6 set tugas iaitu tugas A, B, C, D, E dan F yang akan melalui satu siri aliran yang terdiri daripada 5 buah mesin iaitu MC1, MC2, MC3, MC4 dan MC5.

Setiap tugas mempunyai tarikh akhir (*due date*) dan masa antara ketibaan (*inter arrival time*) yang tertentu manakala setiap mesin pula mempunyai masa pengoperasian yang berbeza bagi setiap tugas. Jadual 3.1 menunjukkan data yang digunakan dalam kajian penjadualan *flow shop* ini manakala Rajah 3.2 menunjukkan model simulasi menggunakan perisian WITNESS.

Jadual 3.1 Data yang digunakan dalam kajian penjadualan *flow shop*

Tugas	Masa akhir (jam)	MC1 (minit)	MC2 (minit)	MC3 (minit)	MC4 (minit)	MC5 (minit)
A	1	10	16	14	10	15
B	2	11	14	12	16	15
C	1	19	10	17	14	16
D	3	20	16	11	20	10
E	2	12	14	18	17	11
F	4	14	15	16	11	17



Rajah 3.2 Lantai pengeluaran model simulasi WITNESS

Perincian model simulasi WITNESS penjadualan *flow shop* adalah seperti berikut:

6 TUGASAN : A, B, C, D, E, F

10 BUFFER : BufA, BufB, BufC, BufD, BufE, BufF, Buf2, Buf3, Buf4, Buf5
Kapasiti setiap *buffer*: 10

5 MESIN : MC1, MC2, MC3, MC4, MC5
Jenis setiap mesin: *Single*
Masa kitaran (*Cycle Time*) setiap mesin: R_CYCLE

PERATURAN KELUARAN TUGASAN : (Sama bagi semua tugas)

Push to ROUTE

Jadual 3.2 Perincian laluan (*ROUTE*) bagi setiap tugas

Tugasan	Laluan	Destinasi	Masa
A	1	BufA	0
	2	MC1	10
	3	Buf2	0
	4	MC2	16
	5	Buf3	0
	6	MC3	14
	7	Buf4	0
	8	MC4	10
	9	Buf5	0
	10	MC5	15
	11	SHIP	0
B	1	BufB	0
	2	MC1	11
	3	Buf2	0
	4	MC2	14
	5	Buf3	0
	6	MC3	12
	7	Buf4	0
	8	MC4	16
	9	Buf5	0
	10	MC5	15
	11	SHIP	0

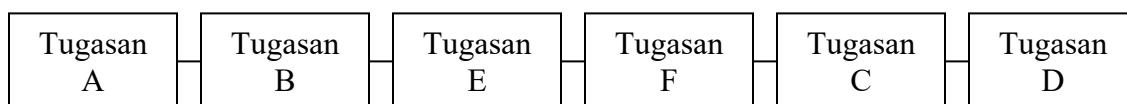
C	1	BufC	0
	2	MC1	19
	3	Buf2	0
	4	MC2	10
	5	Buf3	0
	6	MC3	17
	7	Buf4	0
	8	MC4	14
	9	Buf5	0
	10	MC5	16
	11	SHIP	0
D	1	BufD	0
	2	MC1	20
	3	Buf2	0
	4	MC2	16
	5	Buf3	0
	6	MC3	11
	7	Buf4	0
	8	MC4	20
	9	Buf5	0
	10	MC5	10
	11	SHIP	0
E	1	BufE	0
	2	MC1	12
	3	Buf2	0
	4	MC2	14
	5	Buf3	0
	6	MC3	18
	7	Buf4	0
	8	MC4	17
	9	Buf5	0
	10	MC5	11
	11	SHIP	0
F	1	BufF	0
	2	MC1	14
	3	Buf2	0
	4	MC2	15
	5	Buf3	0
	6	MC3	16
	7	Buf4	0
	8	MC4	11
	9	Buf5	0
	10	MC5	17
	11	SHIP	0

3.5 Peraturan Penghantaran

Peraturan penghantaran merupakan pemilihan tugas yang perlu diutamakan untuk melalui urutan laluan yang telah ditetapkan di dalam sesebuah penjadualan. Peraturan-peraturan keutamaan menyediakan garis panduan kepada rangkaian tugas yang sepatutnya dijalankan (Shuhaiza, et. al. 2000). Peraturan penghantaran bagi tugas-tugas dalam model simulasi *flow shop* yang dipilih dalam tesis ini adalah masa pemrosesan yang paling singkat (SPT) dan tarikh akhir yang paling awal (EDD).

Bagi peraturan penghantaran SPT, tugas yang mempunyai jumlah masa pemrosesan yang paling sedikit akan diutamakan dahulu untuk melalui laluan urutan *buffer* dan mesin yang ditetapkan dalam penjadualan *flow shop*. Begitu juga dengan peraturan penghantaran EDD yang mana tugas yang mempunyai tarikh akhir yang paling awal akan diutamakan berbanding tugas yang tarikh akhirnya yang lewat.

Berdasarkan masa pemrosesan yang diberikan dalam penjadualan bagi kajian ini, didapati dalam menentukan peraturan penghantaran, masa pemrosesan yang paling singkat adalah mengikut urutan tugas seperti berikut:



Berdasarkan tarikh akhir pula, bagi menentukan peraturan penghantaran tarikh akhir yang paling awal adalah mengikut urutan tugas seperti berikut:

