

PENINGKATAN KEUPAYAAN PEMBANGUNAN PRODUK BARU
MELALUI PEMODELAN MATEMATIK
(*Improving New Product Development using a Mathematical Model*)

Muhammad Marsudi, Dzuraidah Abdul Wahab, Lily Amelia dan Che Hassan Che Haron
*Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia*

ABSTRAK

Kertas kerja ini membincangkan pembangunan suatu alat sokongan pembuat keputusan dalam mereka bentuk produk berasaskan teori baris-gilir yang dikaitkan dengan maklumat masa kitar pembuatan. Dengan penggunaan alat sokongan ini, kesan reka bentuk sesuatu produk terhadap parameter kapasiti dan masa kitar pembuatan sesuatu sistem pembuatan sedia ada, dapat ditentukan. Aplikasi alat sokongan ini membolehkan kumpulan pembangunan produk membangunkan produk sebenar pada masa yang singkat, meminimumkan kos pembangunan serta mengurangkan keperluan untuk mereka bentuk semula produk. Alat sokongan ini telah diaplikasikan pada sebuah industri automotif tempatan dan hasil kajian menunjukkan bahawa alat sokongan tersebut telah berjaya melakukan analisis masa kitar dan tahap penggunaan pada sistem pembuatan sedia ada. Pada jumlah keluaran 44 komponen/jam dan saiz sesekumpul 80, hasil analisis menunjukkan tahap penggunaan pada 98% dengan masa kitar 17.8 jam bagi pemprosesan gabungan produk yang terdiri daripada komponen dengan reka bentuk baru dan reka bentuk sedia ada.

Kata kunci: Kapasiti pengeluaran, masa kitar, model matematik, teori baris gilir, reka bentuk produk, sistem pembuatan

ABSTRACT

This paper discussed the development of a decision support tool based on the queuing theory which is linked to manufacturing cycle time information. With the use of this tool, the effects of product design to the capacity and manufacturing cycle time of an existing manufacturing system can be determined. The decision support tool enables the product design team to develop product at a shorter lead time with reduced cost, while minimising redesign during the design development process. The tool has been applied to a local automotive industry and results from the study showed that the tool has been successful in analysing cycle time and utilisation of the existing manufacturing system. For a throughput of 44 parts/hour and batch size 80, results from the analysis show a utilisation rate of 98% and cycle time of 17.8 hours, for the production of mixed products that comprised parts with new and existing design.

Keywords: Capacity, cycle time, mathematical model, queuing theory, product design, manufacturing system

1.0 LATAR BELAKANG KAJIAN

Kepelbagaian produk semakin meningkat secara berterusan di pasaran tempatan mahupun global. Dengan persekitaran yang sedemikian, sesebuah syarikat akan berusaha untuk mengekalkan kelestarian dengan mengubah suai produk sedia ada ataupun memperkenalkan produk baru. Ini bermaksud pembangunan produk adalah salah satu aspek yang penting dalam menentukan persaingan sesebuah syarikat.

Pembangunan produk adalah suatu proses yang melibatkan banyak pertimbangan dan pengambilan keputusan pada tahap aktiviti yang berlainan. Aktiviti tersebut terdiri daripada analisis pasaran, penetapan syarat dari segi fungsi, konsep rekabentuk, rekabentuk terperinci, pemilihan proses dan bahan, pengoptimuman, kawalan proses, pengujian dan penilaian, pembuatan, pengeluaran dan pemasaran (Balachandra 1991, Burhanuddin & Randhawa 1992, Bralla 1996 dan Ahmadi & Wang 1999). Proses pembangunan produk lazimnya memerlukan masa yang panjang.

Pembangunan produk baru lazimnya memerlukan mesin dan sumber pengeluaran yang berbeza dengan sistem pembuatan sedia ada. Perbezaan tersebut adalah pada jenis mesin, kuantiti mesin dan sumber pengeluaran. Keadaan sedemikian bukanlah sesuatu yang menguntungkan kerana lazimnya penyediaan mesin-mesin dan sumber-sumber tersebut memerlukan kos perbelanjaan yang tinggi, disamping tempoh penyediaan yang panjang. Untuk mengatasi masalah ini, industri lazimnya berusaha untuk mengoptimumkan penggunaan sistem pembuatan sedia ada bagi menyokong proses pembangunan produk (Taylor et al. 1994). Usaha ini bertujuan untuk mengurangkan kos dan masa berbanding pembelian mesin dan peralatan baru. Sehubungan itu, reka bentuk produk baru seharusnya disesuaikan dengan sistem pembuatan sedia ada. Terdapat pelbagai kaedah yang dapat digunakan oleh industri bagi memudahkan proses mereka bentuk produk baru yang bersesuaian sehingga dapat diproses pada sistem pembuatan yang sedia ada, dan salah satunya adalah melalui pemodelan sistem pembuatan.

Secara umumnya terdapat dua pendekatan yang boleh digunakan bagi pemodelan sistem pembuatan iaitu pemodelan simulasi dan pemodelan analitik seperti yang dinyatakan oleh Koo et al. (1995). Perbezaan kedua-dua model ini berdasarkan kepada kerawakan data (*data randomness*) iaitu sama ada deterministik mahupun stokastik, dan berdasarkan kebergantungan masa (*time dependency*) iaitu statik mahupun dinamik.

Masa kitar pembuatan amatlah berkait rapat dengan aktiviti pembangunan produk. Pengurangan masa kitar pembuatan akan mempercepatkan penghasilan produk baru. Sehingga kini pelbagai kajian berkenaan dengan analisis masa kitar pembuatan telah dilakukan. Soundar dan Bao (1994) mencadangkan suatu kaedah yang menghubungkan pengaruh reka bentuk produk terhadap sistem pembuatan. Singh (1996) melakukan pengiraan masa operasi pembuatan dengan menjumlahkan masa penyediaan (*setup*) dan masa larian (*running*) iaitu masa proses komponen didarab dengan saiz lot. Elhafsi dan Rolland (1999) mengkaji suatu sistem pembuatan 'make-to-order' dan memodelkan setiap talian pengeluaran sebagai sistem pelayan tunggal baris-gilir (*single server queuing*). Govil (1999) beranggapan bahawa masa kitar untuk setiap operasi pembuatan adalah satu tempoh masa. Masa mendulu (*lead time*) untuk pembelian komponen dianggap mempunyai beberapa tempoh masa. Chincholkar (2002) memperkenalkan suatu kaedah yang disebut sebagai reka bentuk tempoh untuk pemasaran (*design time-to-market*).

Seperti yang dibincangkan sebelumnya, keperluan pembangunan produk masa kini telah memaksa industri untuk mengoptimumkan tahap penggunaan sistem pembuatan yang sedia ada. Taylor et al. (1994) menggunakan suatu model analisis kapasiti dikaitkan dengan reka bentuk produk baru untuk menentukan kuantiti pengeluaran maksimum yang dapat diperolehi daripada suatu fasiliti pemasangan elektronik. Bermon et al. (1995) mengkaji suatu model analisis kapasiti berasaskan teori baris-gilir bagi suatu talian pengeluaran yang memproses pelbagai produk elektronik yang dapat digunakan sebagai alat sokongan pengambilan keputusan (*decision support tool*) dan analisis secara cepat. Beberapa kajian lain juga wujud namun penjelasan terhadap kaedah perancangan kapasiti tidak diperincikan (Vollmann et al. 1997, Hopp & Spearman 2000). Chincholkar (2002) mencadangkan suatu alat sokongan reka bentuk berasaskan pemodelan baris-gilir bagi aplikasi pada industri elektronik.

Kajian-kajian yang dibincangkan di atas sebahagian besar menggunakan pemodelan matematik dalam proses mereka bentuk produk. Suri dan Diehl (1985) menyatakan bahawa penggunaan pemodelan matematik ini adalah lebih menguntungkan berbanding penggunaan model simulasi jika digunakan pada fasa awal reka bentuk produk. Hal ini demikian kerana model berupaya mengkaji sebanyak mungkin alternatif reka bentuk dalam tempoh yang singkat, pada posisi di antara strategi pembuatan industri dengan pemodelan simulasi. Untuk tujuan reka bentuk lazimnya pemodelan matematik dilakukan terlebih dahulu sebelum pemodelan simulasi.

Merujuk kepada perbincangan di atas, dapat disimpulkan bahawa para pengkaji bersetuju tentang kepentingan mengkaji masa kitar pembuatan dan tahap penggunaan dengan menggunakan pemodelan matematik. Namun demikian kajian-kajian tersebut mempunyai beberapa kelemahan seperti berikut:

- Kebanyakan sistem pembuatan yang dikaji menjurus kepada industri elektronik.
- Pemodelan matematik yang dilakukan tidak mengambil kira masa pengendalian bahan. Hal ini adalah kerana kebanyakan industri elektronik menggunakan peralatan dan mesin automatik.
- Kajian terdahulu menggunakan kaedah pemodelan matematik berasas teori baris-gilir, namun mengabaikan isu masa giliran yang disebabkan oleh pergerakan bahan kerja.
- Model matematik yang dicadangkan tidak membincangkan isu bagaimana reka bentuk semula (*redesign*) produk sepatutnya dilakukan sekiranya sistem pembuatan tidak menyokong pemprosesan reka bentuk sedia ada.

Berdasarkan kelemahan pada kajian-kajian terdahulu seperti yang telah dinyatakan, maka kajian ini mencadangkan suatu pemodelan matematik berasas teori baris-gilir yang dapat digunakan sebagai alat sokongan dalam

pengembangan produk pada industri automotif. Berbanding dengan kajian-kajian terdahulu, kajian ini mengambil kira faktor masa pengendalian dan pergerakan bahan kerja dan kaedah bagi mereka bentuk semula produk.

2.0 KAEDAH KAJIAN

Carta alir bagi reka bentuk produk dalam kajian ini dipaparkan dalam Rajah 1. Aktiviti dalam carta alir tersebut dijelaskan seperti berikut:

Langkah 1: Bina suatu reka bentuk produk baru berdasarkan keperluan fungsi produk (*product's functional requirements*).

Langkah 2: Tetapkan suatu rancangan proses pembuatan yang mengandungi urutan proses produk berdasarkan reka bentuk produk. Untuk setiap operasi, kenal pasti sumber yang diperlukan dan jangkakan masa pengendalian dan masa proses yang diperlukan. Sekiranya proses produk yang baru ini memerlukan sumber yang berbeza dengan sumber pada sistem pembuatan sedia ada, maka suatu stesen kerja atau sumber yang baru perlu disediakan.

Langkah 3: Tetapkan jumlah keluaran (*throughput*) T_i awal dan saiz sesekumpul (*batch size*) B_i awal yang dikehendaki untuk produk yang baru ini. Berdasarkan kedua-dua data ini akan dapat ditentukan tahap pelepasan x_i yang dikehendaki.

Langkah 4: Berdasarkan tahap pelepasan x_i , lakukan pemeriksaan sama ada kapasiti sistem pembuatan dapat memenuhi keperluan tahap pelepasan x_i yang dimaksud. Kapasiti sistem pembuatan dapat memenuhi atau mencukupi keperluan tahap pelepasan x_i apabila tahap penggunaan sumber-sumber pada sistem pembuatan tidak melebihi nilai 100%.

- a) Jika memenuhi, pemeriksaan terus dilanjutkan untuk mengetahui sama ada jumlah keluaran T_i awal dan saiz sesekumpul B_i awal ini menghasilkan tahap penggunaan yang optimum atau tidak.
 - i. Sekiranya optimum, pemeriksaan dilanjutkan kepada masa kitar pembuatan, dan jika masa kitar ini boleh diterima maka akan diperolehi hasil tahap penggunaan yang optimum bagi jumlah keluaran T_i dan saiz sesekumpul B_i . Namun jika masa kitar pembuatan tidak dapat diterima, lakukan perubahan terhadap jumlah keluaran T_i ataupun saiz sesekumpul B_i ataupun kedua-duanya. Dengan melakukan perubahan ini maka semakin terhadap keoptimuman tahap penggunaan perlu diulang semula.
 - ii. Sekiranya belum optimum, lakukan perubahan terhadap saiz sesekumpul B_i sahaja, ataupun perubahan terhadap jumlah keluaran T_i sahaja, ataupun perubahan dilakukan terhadap kedua-duanya. Lakukan perubahan ini hingga kapasiti sistem dapat menyokong saiz sesekumpul dan jumlah keluaran yang baru ditetapkan ini, sebelum dilakukan semakin terhadap keoptimuman tahap penggunaan.
- b) Namun jika tidak memenuhi maka lakukan perubahan terhadap reka bentuk. Perubahan reka bentuk ini bertujuan untuk mengelakkan proses melalui stesen kerja yang bermasalah ataupun untuk menghindari sebarang perubahan terhadap saiz sesekumpul B_i awal dan jumlah keluaran T_i awal. Pilihan lain selain melakukan perubahan reka bentuk ialah melakukan penambahan kapasiti pada stesen kerja yang bermasalah contohnya menambah bilangan mesin sejenis pada stesen kerja yang bermasalah.

3.0 PEMODELAN MATEMATIK

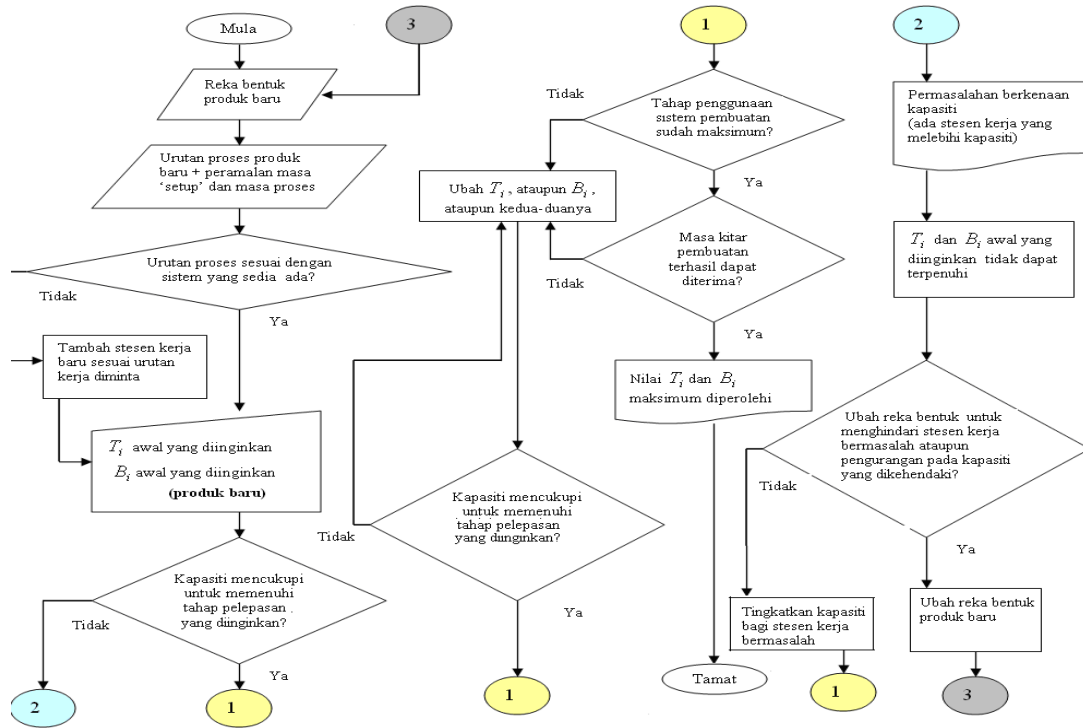
Model matematik digunakan dalam pembangunan alat sokongan reka bentuk produk yang dibangunkan. Sebagai contoh, jika jumlah keluaran T_i awal dan saiz sesekumpul B_i awal yang diinginkan telah ditetapkan, adakah kapasiti sistem pembuatan sudah mencukupi? Untuk menjawab persoalan ini diperlukan suatu perumusan matematik yang berkenaan dengan parameter kapasiti.

Dalam kajian ini perumusan matematik yang digunakan adalah pengubahsuaian terhadap model matematik yang telah digunakan oleh Wei (2001), Wei & Thornton (2002) dan Chincholkar (2002). Wei (2001) dan Wei & Thornton (2002) mengaplikasikan perumusan matematik untuk melakukan penilaian terhadap prestasi sistem pengeluaran industri pembuatan paip bagi pesawat udara Boeing, manakala Chincholkar (2002) mengaplikasikannya dalam analisis prestasi sistem pengeluaran papan litar bercetak. Untuk tujuan kajian ini, selain daripada faktor masa penyediaan, turut diambil kira adalah faktor masa pengendalian dan pergerakan bahan kerja. Kedua-dua faktor tersebut tidak diambil kira dalam kajian-kajian terdahulu oleh Wei, Thornton dan Chincholkar.

Berikut adalah perumusan matematik yang digunakan dalam kajian ini iaitu berdasarkan pengubahsuaian model matematik oleh Wei, Thornton dan Chincholkar.

$$Y_{ij} = \prod_{k \in R_{ij}} y_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_i = \prod_{k \in R_i} y_{ij} \dots\dots\dots (2)$$



Rajah 1 Carta alir alat sokongan mereka bentuk

$$x_i = \frac{T_i}{B_i Y_i} \dots\dots\dots (3)$$

$$A_j = \frac{m_j^f}{m_j^f + m_j^r} \dots\dots\dots (4)$$

$$t_{ij}^+ = B_i Y_{ij} t_{ij} + s_{ij} \dots\dots\dots (5)$$

$$t_j^+ = \frac{\sum_{i \in V_j} x_i t_{ij}^+}{\sum_{i \in V_j} x_i} \dots\dots\dots (6)$$

$$t_j^* = \frac{t_j^+}{A_j} \dots\dots\dots (7)$$

$$c_j^* = c_j^+ + 2 A_j (1 - A_j) \frac{m_j^r}{t_j^+} \dots\dots\dots (8)$$

$$u_j = \frac{t_j^*}{n_j} \sum_{i \in V} x_i \dots\dots\dots (9)$$

$$CT_j^* = \frac{1}{2} (c_j^a + c_j^*) \frac{u_j^{(\sqrt{2n_j+2}-1)}}{n_j(1-u_j)} t_j^* + t_j^* \dots\dots\dots (10)$$

$$CT_i = X + \sum_{j \in R_i} CT_j^* \dots\dots\dots (11)$$

Simbol yang digunakan pada perumusan-perumusan (1) hingga (11) di atas adalah seperti berikut:

A_j - ketersediaan sumber di stesen j

- B_i - saiz sesekumpul bagi produk i ketika dilepaskan, komponen/kumpulan
- CT_i - purata masa kitar pembuatan produk i .
- CT_j^* - purata masa kitar pembuatan di stesen kerja j
- C_j^+ - pekali perubahan kuasa dua (*squared coefficient of variation, SCV*) bagi agregat masa proses
- C_j^* - SCV bagi agregat masa proses yang terubah suai
- C_j^a - SCV bagi selang masa antar ketibaan di stesen kerja j
- C_j^* - SCV bagi masa proses agregat terubah suai di stesen kerja j
- m_j^f - selang masa purata bagi kerosakan (*mean time to failure, MTTF*) sesuatu sumber di stesen j
- m_j^r - masa purata bagi membaiki pulih (*mean time to repair, MTTR*) sesuatu sumber di stesen j
- n_j - bilangan sumber di stesen j
- R_i - turutan stesen yang harus dilalui oleh produk i
- R_{ij} - bahagian turutan stesen yang mendahului stesen j , daripada stesen-stesen yang harus dilalui produk i
- S_{ij} - purata masa kerja pengendalian bagi produk i di stesen j
- T_i - jumlah keluaran yang dikehendaki bagi produk i , komponen/jam
- t_{ij} - purata masa proses komponen bagi produk i di stesen j
- t_{ij}^+ - jumlah masa proses bagi produk i di stesen j
- t_j^* - agregat masa proses terubah suai di stesen j
- u_j - tahap penggunaan pada stesen kerja j
- V_j - set produk yang harus melawati stesen j
- x_i - tahap pelepasan bagi produk i , kerja/jam
- y_{ij} - hasil (*yield*) bagi produk i di stesen j
- Y_{ij} - alah terkumpul (*cumulative yield*) bagi produk i melalui R_{ij}
- Y_i - alah terkumpul bagi produk i melalui R_i
- X - masa penyediaan (*setup*)

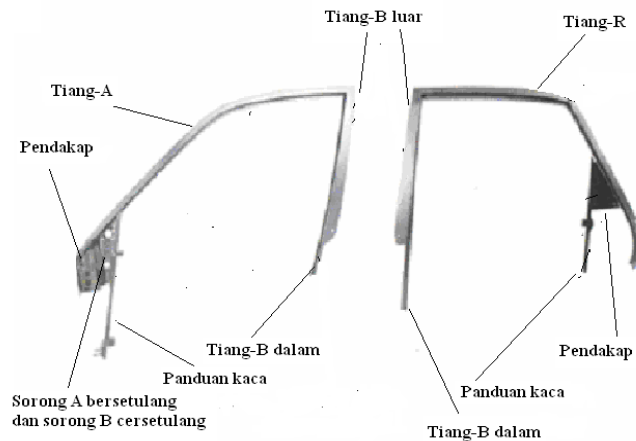
Perumusan matematik yang diterangkan di atas memerlukan pelbagai jenis data iaitu data untuk setiap stesen kerja (jumlah sumber tersedia, selang masa purata bagi kerosakan dan masa purata bagi membaiki pulih setiap sumber), data setiap produk yang sedia ada dan produk baru (saiz sesekumpul setiap jenis komponen yang diproses, jumlah keluaran yang dikehendaki, urutan proses kerja setiap jenis komponen) dan data untuk setiap gabungan antara produk dengan sumber (masa penyediaan, pengendalian dan proses purata setiap komponen pada setiap stesen kerja).

4.0 HASIL DARIPADA APLIKASI MODEL

Alat sokongan dan pemodelan matematik yang dibangunkan kemudiannya diaplikasikan pada sebuah industri komponen automotif iaitu Ingress Precision Sdn. Bhd. yang terletak di Nilai, Negeri Sembilan. Industri ini mempunyai pelbagai sumber pengeluaran yang terdapat pada beberapa talian pengeluaran. Talian pengeluaran yang dimaksudkan ialah talian pengeluaran pembentukan geleskan (*roll forming*) tanpa kimpalan, talian pengeluaran pembentukan geleskan dengan kimpalan, talian pengeluaran mesin tekan automatik dan talian pengeluaran pemasangan (*assembly*). Produk diproses secara berperingkat daripada satu talian pengeluaran ke talian pengeluaran berikutnya sehingga suatu produk akhir dapat dihasilkan.

Produk yang dihasilkan oleh industri ini adalah sorong pintu depan (*front door-sash*) dan sorong pintu belakang (*rear door-sash*) model Proton Wira. Kedua-dua produk ini yang masing-masing disebut sebagai Produk 1 dan Produk

2 adalah produk-produk sedia ada (*existing products*). Manakala satu produk lain yang reka bentuknya berbeza dengan kedua-dua produk di atas adalah sorong pintu depan model Proton Waja. Dalam kajian ini sorong pintu depan model Proton Waja disebut sebagai Produk 3, dan akan diproses pada sistem pembuatan yang sama dengan kedua-dua produk sebelumnya. Rajah 2 menampilkan sorong pintu depan dan sorong pintu belakang model Proton Wira yang dihasilkan oleh Ingress Precision Sdn. Bhd.



Rajah 2 Sorong pintu depan dan sorong pintu belakang Proton Wira
Sumber: Ingress Precision Sdn. Bhd. 2004

Pemprosesan produk sorong pintu depan model Proton Wira, sorong pintu belakang model Proton Wira dan sorong pintu depan model Proton Waja pada sistem pembuatan yang sama akan merujuk kepada dua kemungkinan jenis pemprosesan. Kedua-dua jenis pemprosesan ini adalah pemprosesan secara serempak dan tidak serempak. Pemprosesan secara serempak bermaksud pelbagai jenis produk diproses pada masa yang sama di sesuatu sistem pembuatan, dan ini memerlukan lebih daripada satu sumber yang sejenis misalnya mesin pengeluaran pada suatu stesen kerja. Manakala pemprosesan secara tidak serempak merujuk kepada produk yang diproses pada suatu sistem pembuatan yang sama tetapi diproses secara bergilir. Ini bererti suatu produk yang selesai dihasilkan akan terlebih dahulu dikeluarkan daripada sistem sebelum produk yang berbeza diproses pada sistem pembuatan tersebut.

Jadual 1 menampilkan data jumlah keluaran, saiz sesekumpul dan masa penyediaan bagi setiap produk yang diproses pada sistem pembuatan berdasarkan maklumat yang diperolehi di Ingress Precision Sdn. Bhd.

Jadual 1 Jumlah keluaran awal, saiz sesekumpul awal dan masa penyediaan

PROSES PRODUK <i>i</i> :	Tidak Serempak			Serempak		
	Depan Wira	Belakan gWira	Depan Waja	Depan Wira	Belakan g Wira	Depan Waja
Jumlah keluaran T_i (komponen/jam)	44	44	44	44	44	44
Saiz sesekumpul B_i (komponen/kumpulan)	80	80	80	80	80	80
Masa penyediaan X (jam)	3	3	3	3		

Berdasarkan data pada Jadual 1, maka tahap penggunaan dan purata masa kitar pembuatan di setiap stesen kerja ditentukan, seperti yang dipaparkan pada Jadual 2.

Jadual 2. Tahap penggunaan sumber dan purata masa kitar pembuatan setiap produk

PROSES Talian pengeluaran dan stesen kerja	Tidak Serempak		Serempak	
	Tahap penggunaan u_j	Masa kitar CT_j^* (saat)	Tahap penggunaan u_j	Masa kitar CT_j^* (saat)
Talian pengeluaran RF1_D1:				
<i>j</i> =1 : Roll Forming	0.23	396	0.08	369
<i>j</i> =2 : Inspection_1	0.16	268	0.05	256
<i>j</i> =3 : KU Notching	0.20	315	0.07	300
<i>j</i> =4 : Lower Cutting 1	0.08	124	0.03	122
<i>j</i> =5 : Lower Cutting 2	0.03	118	0.03	118
<i>j</i> =6 : Side Cutting	0.08	121	0.03	119
<i>j</i> =7 : Inspection_2	0.16	240	0.05	231
Talian pengeluaran RF1C:				

<i>j</i> =1: Roll Forming	0.29	527	0.10	476
<i>j</i> =2 : Inspection_1	0.13	216	0.04	209
<i>j</i> =3 : Notching_1	0.06	121	0.03	120
<i>j</i> =4 : Cutting	0.03	120	0.03	120
<i>j</i> =5: Piercing	0.03	120	0.03	120
<i>j</i> =6 : Side Cutting	0.09	122	0.03	120
<i>j</i> =7 : Flange Forming	0.09	122	0.03	120
<i>j</i> =8 : Deformation	0.06	121	0.03	120
<i>j</i> =9 : Notching_2	0.03	119	0.00	119
<i>j</i> = 10 : KU Crimping	0.54	817	0.18	649
<i>j</i> = 11: Spot welding	0.24	305	0.08	290
<i>j</i> = 12: Piercing_1	0.06	106	0.03	105
<i>j</i> = 13: Piercing_2	0.09	107	0.03	105
<i>j</i> = 14: Inspection_2	0.13	159	0.06	156
Talian pengeluaran RBN:				
<i>j</i> =1: Roll Forming	0.45	809	0.15	668
<i>j</i> =2 : Inspection_1	0.14	216	0.05	209
<i>j</i> =3 : RBN	1.19	901	0.40	3013
<i>j</i> =4 : Front End Cutting	0.01	112	0.01	112
<i>j</i> =5: Front End Lancing	0.01	114	0.01	114
<i>j</i> =6 : Inspection_2	0.07	181	0.02	180
<i>j</i> =7 : Notching	0.02	105	0.02	105
<i>j</i> =8 : End Lancing	0.02	99	0.02	99
<i>j</i> =9 : End Cutting	0.03	98	0.02	98
<i>j</i> = 10 : Lancing	0.02	99	0.02	99
<i>j</i> = 11: Side Cutting	0.02	105	0.02	105
<i>j</i> = 12: Reforming	0.04	244	0.04	244
<i>j</i> = 13: Piercing_1	0.03	102	0.02	102
<i>j</i> = 14: Piercing_2	0.02	99	0.02	99
<i>j</i> = 15: Piercing_3	0.02	99	0.02	99
<i>j</i> = 16: Chamfering	0.05	287	0.05	287
<i>j</i> = 17: Inspection_3	0.05	156	0.03	156
Talian pengeluaran E:				
<i>j</i> =1: Press 200T_Brcktt	0.44	2639	0.22	2476
<i>j</i> =2 : Inspection_1_Brckt	0.07	213	0.04	209
<i>j</i> =3 : Press 200T_sashB	0.15	1662	0.15	1662
<i>j</i> =4 : Inspection_1_sashB	0.04	211	0.02	209
<i>j</i> =5: Blanking	0.20	520	0.10	490
<i>j</i> =6 : Inspection_1_sashA	0.04	211	0.04	211
<i>j</i> =7 : Forming_1	0.13	314	0.07	303
<i>j</i> =8 : Forming_2	0.13	314	0.07	303
<i>j</i> =9 : Piercing+Trimming	0.06	129	0.03	127
<i>j</i> = 10 : Restriking	0.03	141	0.03	141
<i>j</i> = 11: Inspection_1_waja	0.04	211	0.04	211
<i>j</i> = 12: Nut welding	0.08	336	0.08	336
<i>j</i> = 13: Inspection_2	0.09	184	0.04	181
Talian pengeluaran A:				
<i>j</i> =1 : MS Cutting	2.13	1312	0.71	2985
<i>j</i> =2: OP Cutting	0.06	99	0.03	105
<i>j</i> =3 : PLW (S)	2.52	7200	0.84	4132
<i>j</i> =4 : Knocking	0.13	254	0.04	153
<i>j</i> =5 : PLW (B)	1.89	19375	0.63	2480
<i>j</i> =6: CO2 welding	2.53	60099	0.84	4239
<i>j</i> =7 : CO (BH) welding	0.50	56889	0.25	924
<i>j</i> =8 : Die Matching	0.51	29672	0.17	614
<i>j</i> =9 : Finishing Single	2.35	165944	0.78	3464
<i>j</i> =10 : Finishing Double	1.97	745679	0.66	2626
<i>j</i> = 11 : Inspection_1	0.11	7667	0.04	135
<i>j</i> = 12: Anti Rust	2.93	2127704	0.98	13712
Keseluruhan masa kitar (jam) CT_i		399	17.8	

Berdasarkan keputusan yang dipaparkan pada Jadual 2, untuk pemprosesan secara serempak mahupun tidak serempak, perkara-perkara berikut dikenal pasti:

- Untuk parameter tahap penggunaan u_j dan masa kitar CT_i terdapat perbezaan hasil antara pemprosesan secara serempak dengan tidak serempak. Pada jumlah keluaran sebanyak 44 komponen/jam dan saiz sesekumpul 80 komponen/kumpulan, sistem pembuatan tidak dapat melakukan pemprosesan sekiranya dilakukan secara tidak serempak. Ini disebabkan oleh adanya beberapa stesen kerja yang mengalami kelebihan kapasiti (*overutilisation*) iaitu nilai $u_j > 1$. Sebagai contoh, pada stesen kerja RBN di talian pengeluaran RBN, dan di talian pengeluaran A pada stesen-stesen kerja MS Cutting, PLW (S), PLW (B), CO2 welding, Finishing Single, dan Anti Rust. Ketidakupayaan melakukan proses secara tidak serempak ini menghasilkan masa kitar yang amat panjang dan juga tidak rasional. Ini adalah berdasarkan perbandingan masa kitar selama 399 jam berbanding 17.8 jam sahaja sekiranya pemprosesan dilakukan secara serempak.
- Pada pemprosesan secara serempak dengan kuantiti jumlah keluaran dan saiz sesekumpul 44 komponen/jam dan 80 komponen/kumpulan, sistem pembuatan mempunyai keupayaan melakukan pemprosesan. Parameter tahap penggunaan u_j di semua stesen kerja kebanyakannya masih belum optimum kecuali pada stesen kerja Anti Rust di talian pengeluaran A yang nilainya sudah mencapai 0.98. Oleh itu dapatlah disimpulkan bahawa sistem pembuatan ini sudah mencapai optimum pada jumlah keluaran dan saiz sesekumpul masing-masing 44 komponen/jam dan 80 komponen/kumpulan. Jika kuantiti pengeluaran dan saiz sesekumpul ditingkatkan, ini akan menyebabkan tahap penggunaan di stesen kerja Anti Rust melebihi 100%.

5.0 PANDUAN MEREKA BENTUK SEMULA PRODUK

Rajah 2 menunjukkan terdapat kemungkinan reka bentuk semula dilakukan terhadap reka bentuk produk sedia ada jika sistem pembuatan tidak berkeupayaan melakukan pemprosesan pada nilai jumlah keluaran T_i awal dan saiz sesekumpul B_i awal yang dikehendaki. Nilai jumlah keluaran T_i awal dan saiz sesekumpul B_i awal yang dikehendaki ini selalunya adalah nilai-nilai yang paling minimum yang ditetapkan bagi pengeluaran produk pada sistem pembuatan yang berkenaan. Untuk itu kajian ini mencadangkan pula suatu panduan mereka bentuk semula yang dapat membantu kumpulan pembangunan produk melaksanakan tugas mereka. Panduan ini secara amnya berkaitan dengan perubahan yang diperlukan pada produk, proses pembuatan produk ataupun kedua-duanya secara gabungan. Perubahan dilakukan dengan kaedah-kaedah meniadakan (*eliminate*), menyatukan (*integrate*), mencampur (*combine*), menyederhanakan (*simplify*), mempiawaikan (*standardize*), menggantikan (*substitute*), dan menyemak (*revise*). Oleh yang demikian, soalan-soalan sebagaimana yang ditampikan pada Jadual 3 perlu dipertimbangkan.

Jadual 3 Panduan bagi mereka bentuk semula produk dan proses

	PRODUK	PROSES
Meniadakan	Bolehkah sebarang komponen ditiadakan?	Bolehkah sebarang aktiviti ditiadakan?
Menyatukan	Bolehkah sebarang komponen disatukan dengan komponen yang lain?	Bolehkah sebarang aktiviti disatukan dengan aktiviti yang lain?
Mencampur	Bolehkah komponen-komponen yang ada dicampur dengan baik?	Bolehkah urutan proses yang terbaik dilakukan?
Menyederhanakan	Bolehkah komponen-komponen disederhanakan?	Bolehkah aktiviti-aktiviti disederhanakan?
Mempiwaiakan	Bolehkah komponen-komponen dipiwaiakan menjadi satu kepiawaian?	Bolehkah aktiviti-aktiviti dipiwaiakan menjadi satu kepiawaian?
Menggantikan	Bolehkah sebarang komponen digantikan?	Bolehkah sebarang aktiviti digantikan?
Menyemak	Bolehkah sebarang komponen disemak kembali?	Bolehkah sebarang aktiviti disemak kembali?

6.0 KESIMPULAN

Pada fasa awal pembangunan produk, diharapkan kumpulan pembangunan produk dapat meramal tahap penggunaan dan masa kitar pembuatan berdasarkan maklumat daripada reka bentuk produk. Jika ramalan ini menunjukkan bahawa masa kitar terlalu panjang ataupun menyebabkan tahap penggunaan melebihi 100%, maka kumpulan pembangunan produk perlu melakukan perubahan terhadap reka bentuk produk. Penyelesaian melalui kaedah ini akan dapat mengurangkan kos dan masa pembangunan produk, disamping mengurangkan kemungkinan berlakunya proses reka bentuk semula di kemudian hari. Kajian ini telah berjaya membangunkan suatu alat sokongan pengambilan keputusan dalam pembangunan produk berasaskan model matematik teori giliran, yang dapat meramal masa kitar pembuatan dan tahap penggunaan yang diperlukan bagi sesuatu produk baru.

Aplikasi alat sokongan pada industri Ingress Precision Sdn. Bhd. mendapati bahawa pemprosesan produk campuran (*mix products*) secara serempak adalah lebih menguntungkan berbanding pemprosesan secara tidak serempak berdasarkan aspek masa kitar pembuatan dan tahap penggunaan. Namun demikian, kaedah pemprosesan secara serempak ini memerlukan sumber yang lebih banyak pada sesuatu stesen kerja berbanding kaedah tidak serempak.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan kepada Ingress Precision Sdn. Bhd. di Nilai, Negeri Sembilan di atas segala kerjasama dalam menjalankan kajian ini.

RUJUKAN

- Ahmadi, R. & Wang, R.H. 1999. Managing development risk in product design process. *Operations Research* 47(2): 235-246.
- Balachandra, R. 1991. Some strategic aspects of faster new product introduction. *Engineering Management Conference*. hlm. 226-229.
- Bermon, S., Feigin, G. & Hood, S. 1995. Capacity analysis of complex manufacturing facilities. *Proceedings of the 34th Conference on Decision and Control*, hlm. 1935-1940.
- Bralla, J.G. 1996. *Design for Excellence*. USA: McGraw-Hill Inc.
- Burhanuddin S. & Randhawa, S.U. 1992. A framework for integrating manufacturing process design and analysis. *Computers and Industrial Engineering* 23(1-4): 27-30.
- Chincholkar, M.M. 2002. *Design for production: Using manufacturing cycle time information to improve product development*. Maryland: Institute for Systems Research.
- Elhafsi, M. & Rolland, E. (1999). Negotiating price and delivery date in a stochastic manufacturing environment. *IIE Transactions* 31: 255-270.
- Govil, M. 1999. Integrating product design and production: Designing for time-to- market. Tesis PhD. USA: University of Maryland.
- Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 2000. *Factory Physics*. Second edition. Boston: Irwin/McGraw Hill.
- Koo, P.H., Moodie, C.L. & Tavalage, J.J. 1995. A spreadsheet model approach for integrating static capacity planning and stochastic queuing models. *International Journal of Production Research* 3(5): 1369-1385.
- Magrab, E.B. 1997. *Integrated product and process design and development: The product realization process*. Boca Raton: CRC Press.
- Singh, N. 1996. *Systems approach to computer-integrated design and manufacturing*. New York: John Wiley and Sons.
- Soundar, P. & Bao, H.P. 1994. Concurrent design of products for manufacturing system performance. *Proceedings of the IEEE 1994 International Engineering Management Conference*, hlm. 233-240.
- Suri, R. & Diehl, G.W. 1985. MANUPLAN, A precursor to simulation for complex manufacturing systems. *Proceeding of the Winter Simulation Conference*, hlm. 411-428.
- Taylor, D.G., English, J.R. & Graves, R.J. 1994. Designing new products: Compatibility with existing product facilities and anticipated product mix. *Integrated Manufacturing Systems* 5(4/5): 13-21.
- Vollmann, T.E., Berry, W.L. & Whybark, D.C. 1997. *Manufacturing planning and control systems*. Fourth edition. New York: Irwin/McGraw-Hill.
- Wei, Y. 2001. Concurrent design for optimal quality and cycle Time. Tesis PhD. Massachusetts: Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Wei, Y. & Thornton, A.C. 2002. Concurrent design for optimal production performance. *Paper DETC2002/DFM-34163 in CD-ROM Proceedings of 2002 ASME Design Engineering Technical Conference*.