

**PERANCANGAN, PENJADUALAN DAN KAWALAN
DALAM
SISTEM PROSES BERKELOMPOK**

Oleh

**Arshad Ahmad
Jabatan Kejuruteraan Kimia, UTM**

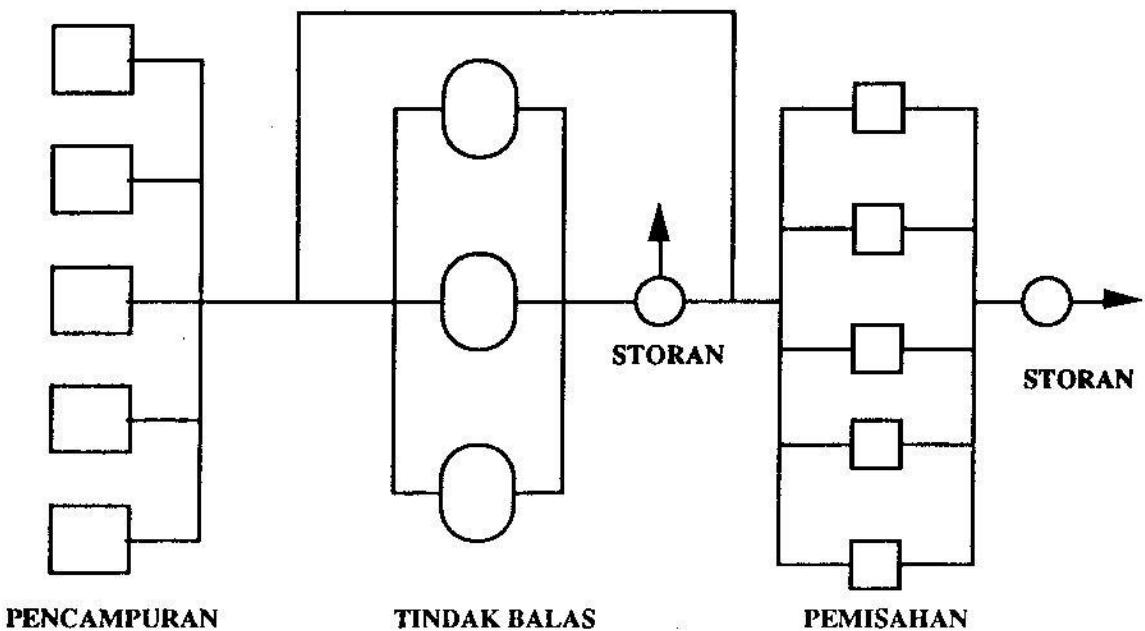
Abstrak

Di dalam beberapa sektor pengeluaran seperti industri makanan, farmasi, bioteknologi dan alat solek penggunaan loji berkelompok adalah lebih digemari. Dalam operasi loji-loji tersebut, terdapat berbagai kesukaran yang dihadapi kerana di samping gangguan persekitaran dan perubahan sifat bahan mentah, masalah penjadualan, penjajaran dan pengurusan resipi juga perlu diatasi. Suatu masalah utama yang dihadapi ialah kewujudan jurang antara sesuatu peringkat operasi seperti perancangan dan penjadualan dengan yang lain. Kertas kerja ini meninjau teknologi masa kini dan mencadangkan pendekatan yang sesuai bagi memudahkan operasi berbantukan komputer demi mempertingkatkan lagi kecekapan dan ekonomi pemprosesan.

Pengenalan

Pemprosesan selanjar memang telah dianggap sebagai suatu yang unggul dari segi ekonomi dalam operasi sesebuah loji kimia. Ianya juga telah menjadi antara matlamat utama dalam merekabentuk loji yang baru. Malahan, telah menjadi impian jurutera kimia untuk menukar loji-loji berkelompok kepada yang selanjar. Dengan perspektif yang sedemikian, adalah menghairankan kenapa pada hari ini, pengeluaran bahan kimia masih lagi dibuat dalam loji berkelompok. Malahan, bagi industri-industri makanan, farmasi, perubatan, bioteknologi dan kimia khas, loji berkelompok tetap diberi keutamaan.

Struktur loji berkelompok sering kali dipilih kerana operasinya bolch diubah berdasarkan kepada keperluan dan strategi syarikat. Ianya amat sesuai bagi operasi yang melibatkan berbagai jenis hasil. Secara umum, loji berkelompok boleh dibahagikan kepada dua kategori utama iaitu *Loji berbilang Hasil* dan *Loji Berbilang Tujuan*. Di dalam loji berbilang hasil, jenis bahan-bahan yang sama seperti beberapa jenis cat dihasilkan dengan menggunakan susunan unit operasi (laluan) yang sama. Oleh itu masa untuk pengeluaran sesuatu hasil perlu dirancang bagi mengoptimumkan penggunaan unit operasi. Bagi loji berbilang tujuan pula, pengeluaran sesuatu hasil dapat dijalankan melalui beberapa laluan. Tambahan pula hasil yang lain boleh dikeluarkan melalui laluan tersebut. Akibatnya, masalah perancangan dan penjadualan menjadi semakin rumit. Seperti yang ditunjukkan dalam rajah 1, loji berkelompok terdiri daripada beberapa kumpulan unit operasi utama yang berbeza dari segi masa penggunaan, fungsi dan batasan operasinya. Hasil dari suatu peringkat proses mungkin dijual, ataupun disimpan dalam tangki storan sementara untuk digunakan oleh peringkat operasi seterusnya ataupun diproses terus dalam unit operasi lain. Dengan polisi storan yang mungkin berbeza pada setiap peringkat dan pengeluaran hasil yang berbeza dan resipi yang berbeza dari semasa ke semasa, operasi loji berkelompok didapati amat sukar dilaksanakan.



Rajah 1 : Struktur Loji Berkelompok

Jika dibandingkan dengan loji selanjar, operasi loji berkelompok adalah lebih rumit kerana di samping fungsi operasi yang umum, terdapat beberapa fungsi khusus yang perlu dilaksanakan. Proses berkelompok juga sentiasa menghadapi risiko dari berbagai faktor yang boleh mengganggu kestabilan dan kelancaran operasinya. Seperti yang dipersetujui oleh Karimi dan Reklaitis (1985) berikut adalah beberapa faktor utama :

1. Perubahan pada masa tidakbalas operator loji
2. Perubahan pada keboleh-gunaan sumber perkhidmatan
3. Kerosakan kecil peralatan
4. Ketidak-jituan resipi
5. Perubahan pada mutu bahan mentah.

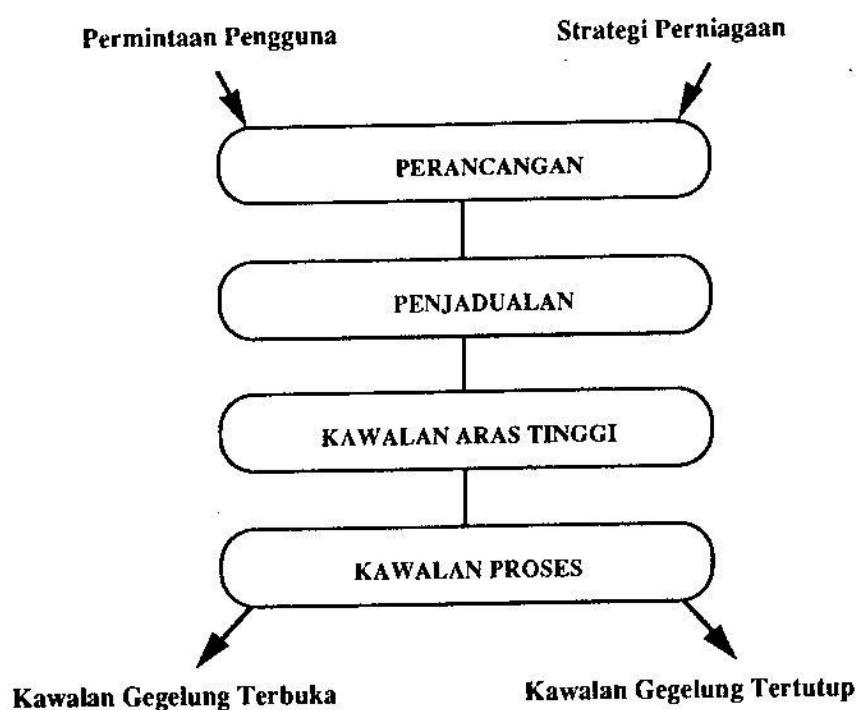
Selalunya, operasi loji berkelompok dijalankan secara manual ataupun semi-automatik dengan menggunakan tenaga pekerja yang mahir. Di sini, masalah keboleh-ulangan sesuatu pencapaian sering kali timbul kerana ianya terlalu bergantung kepada tindakan manusia yang boleh berubah-ubah dalam berbagai segi. Tambahan pula, keperluan kepada peningkatan penggunaan loji telah menghasilkan jadual operasi yang ketat dan ini amat menyukarkan. Sering kali, walaupun dengan kemahiran yang ada, masa yang diperuntukkan tidak mencukupi untuk operator loji menjalankan tindakan yang sesuai terutama pada masa-masa di mana masalah operasi timbul.

Bagi mengatasi masalah ini, sistem operasi berkomputer telah diperkenalkan tetapi sehingga hari ini, masih terdapat banyak kelemahan yang di hadapi oleh pihak industri yang mengamalkannya. Di dalam kertas kerja ini, struktur am operasi loji akan diterangkan dan perbincangan mengenai masalah yang perlu diselesaikan akan dibuat. Di samping itu, suatu pendekatan yang sesuai akan diketengahkan bagi memperbaiki lagi teknologi dalam sistem kawalan dan operasi loji berkelompok.

Struktur Sistem Operasi Loji Pemprosesan

Secara umum, terdapat dua jenis struktur yang boleh digunakan iaitu sistem satu aras dan sistem berbilang aras (berhierarki). Di dalam sistem satu aras keseluruhan aspek operasi termasuk perancangan, penjadualan dan kawalan dijalankan serentak dengan menggunakan suatu model operasi yang besar dan menyeluruh. Sebaliknya di dalam sistem berhierarki, aspek-aspek perancangan, penjadualan dan kawalan dipisahkan kepada beberapa aras berdasarkan prioriti, hierarki dan kesesuaian susunan sesuatu fungsi. Struktur berhierarki ini didapati sesuai untuk proses berkelompok kerana ia hanya mengurangkan kerumitan di dalam perancangan dan pengawalan dengan penguraian masalah yang besar kepada masalah-masalah kecil yang tidak mempengaruhi antara satu sama lain. Di samping itu ia juga dapat mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh perubahan yang berlaku dari semasa ke semasa kerana sesuatu keputusan itu dibuat pada masa yang berbeza. Oleh itu keputusan yang lebih tepat akan dapat dihasilkan kerana ia berdasarkan maklumat dan data terkini. Atas kelebihan-kelebihan ini, sistem berhierarki lebih digemari dan sering kali menjadi pilihan.

Di dalam sistem berhierarki, fungsi-fungsi operasi diasangkan kepada beberapa aras. Contohnya, rajah 2 menunjukkan sistem yang mempunyai 4 aras operasi yang utama.



Rajah 2 : Struktur Berbilang Aras

Di aras yang tertinggi sekali adalah fungsi pengurusan dan perancangan. Di aras ini maklumbalas daripada bahagian pemasaran akan digunakan bagi merancang kapasiti pengeluaran yang diperlukan untuk memenuhi permintaan pelanggan. Perancangan pengeluaran melibatkan sumber-sumber masa, peralatan, bahan mentah, tenaga dan pekerja untuk memenuhi keperluan pasaran bagi sesuatu jenis hasil. Arahan pengeluaran selalunya dibentuk dengan bantuan prcisian *Pengaturcaraan Lelurus* berdasarkan kepada maklumat purata pengeluaran loji, permintaan pengguna dan kemampuan syarikat.

Keputusan yang dibuat di peringkat perancangan akan diterjemahkan kepada jadual pengeluaran yang terperinci di aras penjadualan bagi memenuhi permintaan dengan kos pengeluaran yang paling optimum. Di sini model loji sebenar yang selalunya tidak lurus digunakan bagi menyusun strategi operasi.

Seterusnya di aras ketiga, terdapat *Sistem Kawalan Aras Tinggi* yang akan mengoptimumkan strategi operasi dan kawalan loji tersebut. Maklum balas yang didapati daripada bahagian kawalan proses dan penjadualan dipertimbangkan dan strategi operasi yang optimum, yang boleh dilakukan pada sesuatu masa itu akan dibentuk. Di sini, jujukan operasi dan titik set bagi parameter operasi ditetapkan untuk digunakan oleh sistem kawalan proses.

Akhirnya, di aras yang paling rendah ialah aras kawalan proses yang secara terus berhubung dengan peralatan loji. Bagi proses berkumpulan, ianya boleh dibahagikan kepada empat kategori utama - *Kawalan Logik*, *Kawalan Jujukan (Gegetung Terbuka)*, *Kawalan Peraturan (Gegetung Tertutup)* dan *Kawalan Akibat* (Mehta, 1983). Kawalan Logik mengenalpasti langkah-langkah ataupun fasa utama proses seperti pemisahan, pemanasan dan sebagainya. Kawalan jujukan pula mengatur susunan (jujukan) operasi keseluruhan alat-alat kecil seperti injap, motor dan sebagainya bagi setiap fasa operasi. Kawalan gegetung tertutup memastikan angkubah-angkubah proses berada pada takat yang dikehendaki. Akhirnya, terdapat kawalan akibat yang akan mengenalpasti masalah operasi, dan menawarkan tindakan susulan yang perlu diambil sekiranya diperlukan. Ini adalah perkara yang penting apabila berlakunya sesuatu kegagalan operasi ataupun keadaan yang membahaya.

Perkembangan Penyelidikan Dan Pembangunan

Selaras dengan perkembangan industri pemprosesan, pembangunan dalam kejuruteraan sistem proses juga terus meningkat untuk memperbaiki ekonomi dan kecekapannya.

Kawalan Proses

Di dalam aspek kawalan proses, penyelidikan dan pembangunan telah lama bertumpu pada masalah unit tunggal di mana rekabentuk sistem kawalan dibuat berdasarkan kepada dinamik sesebuah unit operasi sahaja. Di masa yang lalu, pendekatan ini dirasakan sesuai kerana kebanyakan loji dibina dengan *jidar lebih rekabentuk* yang besar. Ini dapat mengelakkan gangguan pada sesuatu unit operasi itu daripada dirasai oleh unit yang lain. Penekanan telah diberikan kepada pembangunan dalam kawalan gegetung tertutup dan pencapaian telah sampai kepada tahap yang tinggi iaitu pembentukan *Pengawal Pakar Berbilang Angkubah* (Tzouanas et.al., 1990a,1990b,1990c).

Walau bagaimanapun, keadaan ini telah berubah. Kebanyakan loji masa kini direkabentuk dengan konsep bersepdu yang mengambil kira keseluruhan aspek operasi dengan mengoptimumkan saiz peralatan, penggunaan tenaga dan beberapa faktor lain. Oleh yang demikian rekabentuk sistem kawalan yang berdasarkan kepada unit tunggal tidak lagi begitu sesuai. Menyedari hakikat ini, beberapa penyelidik telah menerokai kaedah yang lain. Douglas (1978) telah memperkenalkan penyelesaian yang cepat dan mudah yang menggunakan teknik analisis magnitud. Berdasarkan kepada kekuatan sesuatu gangguan kepada proses, strategi dan objektif kawalan akan dikenal pasti. Menurutnya, langkah pertama yang perlu diambil ialah menyelesaikan masalah imbangan jisim (kawalan jujukan) supaya pengeluaran yang cekap dapat diwujudkan. Selepas itu, rekabentuk sistem kawalan bagi setiap unit operasi dibuat berdasarkan kepada dasar unit tunggal.

Umeda dan beberapa penyelidik lain (1979) mencadangkan kaedah sintesis dua aras. Di aras yang pertama, segala kemungkinan objektif dan struktur kawalan dibentuk. Seterusnya, strategi dan objektif akhir dipilih dengan menggugurkan objektif yang mempunyai percanggahan antara satu sama lain. Kaedah ini juga didapati mudah untuk digunakan, tetapi dengan hanya menggugurkan percanggahan, ianya tidak mungkin dapat membentuk suatu strategi kawalan yang optimum dan sistematik.

Govind dan Powers (1982) pula mencadangkan kaedah *Sebab dan Akibat* yang menggunakan graf bagi mewakili interaksi antara satu unit operasi dengan yang lain yang juga bergantung kepada maklumat imbangan jisim dan tenaga sesuatu loji. Menurut mereka, kaedah ini mudah digunakan, tidak memerlukan maklumat yang banyak dan memberi peluang kepada perekabentuk untuk memasukkan idea dan pilihan sendiri. Walau bagaimanapun, kaedah ini tidak sesuai untuk dilaksanakan bagi proses yang berstruktur rumit, berbilang angkubah dan sebagainya.

Walaupun masih terdapat beberapa kaedah yang lain, usaha yang dilakukan oleh Stephanopoulos dan rakan-rakannya (Arkun & Stephanopoulos, 1980,1981, Morari, Arkun & Stephanopoulos, 1977,1980, Morari & Stephanopoulos, 1980a,1980b) dirasakan paling berjaya di mana suatu kaedah merekabentuk sistem kawalan yang bersepada yang mengambil kira keseluruhan unit operasi dalam sesuatu loji termasuk interaksi di antara sesuatu unit operasi dengan yang lain telah diketengahkan. Dengan menggunakan struktur berhierarki, mereka membahagikan :

1. Loji kepada beberapa kumpulan unit operasi
2. Tugas operasi kepada kawalan gegelung, pengoptimuman dan sebagainya.

Di samping itu terdapat banyak lagi usaha-usaha gigih yang dilakukan oleh penyelidik masa kini bagi menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh peringkat kawalan proses.

Perancangan dan Penjadualan

Masalah perancangan dan penjadualan juga telah lama mendapat perhatian daripada penyelidik dari berbagai disiplin termasuk Kejurutera Industri dan Sains Pengurusan. Beberapa perisian utama telah dihasilkan bagi menyelesaikan masalah perancangan pengeluaran termasuklah STRIPS (Fikes & Nilson,1971), MOLGEN (Stefil,1980) dan TWEAK (Chapman,1985). Walau bagaimanapun, pencapaian yang dibuat oleh mereka seringkali begitu berharga bagi industri kimia terutama yang mempunyai struktur operasi berkelompok. Ini adalah disebabkan oleh kerumitan operasi loji kimia yang seringkali tidak difahami oleh mereka. Akibatnya, berbagai andaian telah dibuat termasuk pengabaian masa pemindahan bahan dari satu unit operasi kepada yang lain, pengabaian masa untuk penyediaan sesuatu unit operasi, penggunaan polisi storan yang seragam pada semua peringkat operasi dan sebagainya.

Ekoran daripada keadaan ini, penyelidikan dalam aspek perancangan pengeluaran telah menjadi salah satu bidang penyelidikan penting dalam kejuruteraan kimia. Rivas & Rudd (1974) adalah di antara beberapa perintis yang telah melibatkan diri dalam bidang penyelidikan ini. Dengan mengambil keselamatan sebagai faktor utama, mereka telah membentuk kaedah untuk merancang operasi sesebuah loji pemprosesan kimia. Kinoshita dan penyelidik lain (1982) pula mencadangkan bahawa perancangan operasi sepatutnya bermula daripada sesebuah unit operasi yang utama. Dengan menggunakan maklumat-maklumat berkenaan operasi unit-unit operasi tersebut dan interaksi di antara mereka, operasi loji akan dirancang. Fussilo & Powers (1987) pula mencadangkan kaedah yang lebih teratur di mana batasan operasi pada peringkat keseluruhan loji dan peralatan individu diambil kira. Memahami kelemahan metodologi yang dihasilkan oleh penyelidik terdahulu, Lakshmanan & Stephanopolos, (1988a,1988b,1990) telah mencadangkan pendekatan yang berdasarkan kepada perancangan tidak lelurus yang mengambil kira berbagai jenis batasan pada beberapa peringkat operasi.

Umumnya, terdapat dua kategori penyelidikan dalam bidang ini iaitu pembentukan algoritma umum untuk digunakan oleh semua proses dan penyelesaian masalah khusus yang dihadapi oleh loji kimia. Memang tidak dapat dinafikan sekiranya usaha pertama itu berjaya, usaha-usaha lain tidak perlu lagi dibuat tetapi seperti yang dinyatakan oleh Lakshmanan dan Stephanopolos (1988a), Chapman (1985) telah mempunyai bukti-bukti secara teori yang cukup bagi mengatakan bahawa algoritma impian itu, yang sesuai untuk semua keadaan operasi industri tidak mungkin dapat diwujudkan.

Khususnya, bagi menyelesaikan masalah loji berkelompok, pembangunan yang pesat telah dibuat oleh penyelidik di beberapa institusi utama. Di Eropah, Rippin dan penyelidik lain di *Swiss Federal Institute of Technology* (Manderli & Rippin,1979, Rippin,1983, Egli & Rippin,1986) telah melaporkan beberapa

pencapaian utama termasuk beberapa perisian yang kini digunakan oleh pihak industri. Di Jepun, beberapa pencapaian yang bernilai telah dibuat oleh Takamatsu dan rakan penyelidiknya dari *Kyoto University* (1979,1982,1984) yang memberi penumpuan pada masalah storan perantaraan di antara peringkat-peringkat (fasa) operasi.

Di Amerika Syarikat pula, kegiatan yang aktif berlangsung di *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* dengan diterajui oleh Evans dan Stephanopoulos (Laksmanan & Stephanopoulos, 1988a,1988b,1990, Musier & Evans,1989). Di *Purdue University* pula, Reklaitis dan rakan penyelidiknya (Kuriyan dan Reklaitis, 1989, Wellon dan Reklaitis (1989a, 1989b) telah melaporkan beberapa pencapaian utama. Di samping itu, Karimi juga mengetuai sekumpulan penyelidik di *Northwestern University* (Modi & Karimi,1989, Ku & Karimi, 1989).

Masalah Yang Ketara

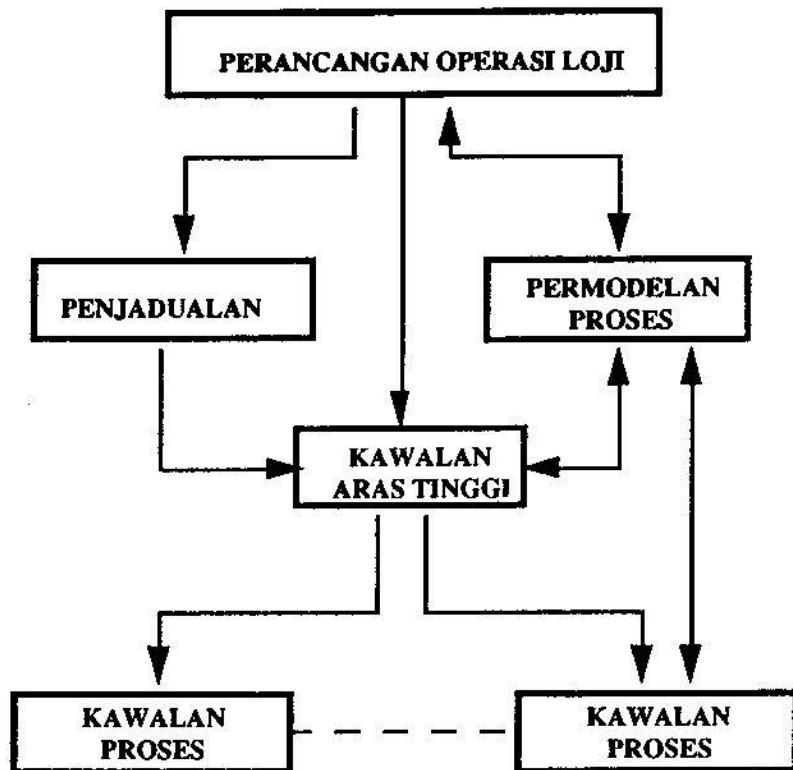
Walaupun penyelidikan dalam berbagai aspek operasi loji pemprosesan giat dijalankan, masih terdapat beberapa masalah yang perlu diselesaikan. Salah satu kesukaran utama ialah masalah pemindahan maklumat antara suatu aras operasi kepada aras operasi yang lain di mana keputusan yang dibuat di aras yang tinggi tidak dapat dilaksanakan oleh aras rendah dan sebaliknya. Ini disebabkan oleh kekurangan teknologi yang sesuai untuk menyepadukan fungsi-fungsi tersebut. Contohnya, pada peringkat perancangan pengeluaran, data-data yang digunakan oleh perisian aturcara lelurus adalah merupakan purata daripada operasi loji dalam jangka masa yang panjang (contohnya beberapa bulan). Nilai purata ini selalunya jauh berbeza daripada nilai pada masa operasi yang dirancangkan itu perlu dijalankan. Ini menyebabkan kesukaran bagi merancang jadual terperinci operasi yang berdasarkan kemampuan, kewujudan bahan mentah, peralatan dan sebagainya bagi setiap jam, minit atau saat. Pada tahap kawalan proses pula, jurangnya juga luas. Sasaran operasi yang dirancangkan seringkali tidak sesuai untuk dilaksanakan berdasarkan keadaan dan kemampuan terkini loji tersebut.

Masalah yang wujud ini memang telah disedari. Pada masa-masa yang lalu, ianya tidak begitu menonjol kerana dengan bantuan pekerja yang mahir, maklumat daripada peringkat perancangan dilaksanakan bersesuaian dengan keadaan dan kemampuan loji. Tetapi, seperti yang telah dinyatakan sebelum ini, masalah yang lain pula dihadapi.

Daripada tinjauan yang dibuat oleh Benson (1989), penyelidikan dalam bidang Kejuruteraan Sistem Proses yang merangkumi aspek rekabentuk dan operasi loji sememangnya telah mendapat perhatian dalam beberapa tahun yang kebelakangan ini. Walau bagaimanapun usaha ke arah menyepadukan keseluruhan aspek operasi loji masih ketinggalan dan jurang yang terdapat di antara suatu peringkat operasi dengan yang lain terus terbiar.

Integrasi Antara Perancangan, Penjadualan dan Kawalan

Jika dilihat model yang unggul, aliran maklumat dalam sistem operasi loji dapat diringkaskan dalam rajah 3. Maklumat dari peringkat atasan seperti bahagian pemasaran dan pengurusan akan diberikan kepada bahagian perancangan supaya jadual pengeluaran dapat dihasilkan. Pada masa yang sama juga butir-butir yang berkaitan daripada operasi loji dihantar ke aras ini dalam bentuk model operasi proses. Hasilnya ialah suatu jadual pengeluaran yang seterusnya akan digunakan diterjemahkan kepada jadual terperinci operasi berserta dengan strategi kawalan yang diperlukan. Kesemua ini dilakukan di aras yang kedua (dari segi aliran maklumat) dan strategi operasi dan kawalan ini akan dilaksanakan oleh aras kawalan proses yang berhubung terus dengan loji berkenaan.



Rajah 3 : Aliran Maklumat Dalam Sistem Kawalan Berkelompok

Malangnya, keadaan sebenar di industri adalah lebih rumit lagi kerana wujudnya jurang antara suatu peringkat dengan yang lain seperti yang telah dinyatakan sebelum ini. Bagi mengatasi masalah ini, Cott dan Macchieto (1989a) telah membangunkan perisian untuk pengubahan jadual secara dalam talian di mana perubahan strategi operasi dapat dibuat oleh operator loji dari semasa ke semasa. Dengan pencapaian ini Cott dan Macchieto (1989b) seterusnya menyepakukn perisian tersebut perisian lain yang sedia ada bagi membentuk suatu sistem operasi berbantuan komputer yang bersepada. Ini merupakan satu pencapaian yang besar dalam Kejuruteraan Sistem Proses. Walau bagaimanapun, aspek kawalan proses telah diabaikan oleh mereka dan penekanan hanya diberikan pada perancangan dan penjadualan sahaja.

Terdapat dua pendekatan dalam pembentukan sistem bersepada yang mengambilkira keseluruhan aspek operasi yang telah dibincangkan itu. Pertama, masalah ini boleh diselesaikan dengan membentuk suatu model operasi yang menyeluruh yang merangkumi kesemua fungsi operasi. Kedua, kesemua fungsi operasi yang sedia ada digunakan seperti biasa, dan kelengkapan tambahan dibentuk untuk memenuhi jurang di antara aras-aras operasi. Pendekatan pertama mungkin digemari kerana kesemua maklumat diproses serentak tetapi ini memerlukan peralatan yang mahal (komputer yang berkemampuan tinggi dan sebagainya). Ini mungkin tidak begitu menarik bagi syarikat yang kecil.

Dalam pendekatan kedua, suatu model rangka kerja bebas yang mempunyai kemampuan memodel, menganggar dan mengoptimum sesuatu parameter perlu dibentuk. Kelengkapan ini seharusnya mampu menyepakukn suatu aras operasi dengan yang lain termasuk perancangan, penjadualan, kawalan aras tinggi pertmodelan proses. Dengan ini kebolchan untuk perubahan strategi seperti yang dibincangkan oleh Cott dan Macchieto (1989a,b) akan dijalankan tanpa mengabaikan intergrasi dengan aspek kawalan proses.

Sekiranya perisian yang berasingan ini dapat dihasilkan, mikrokomputer akan dapat digunakan. Ini sudah pasti dapat menarik minat kebanyakan pengilang yang menjalankan operasi loji berkelompok.

Kesimpulan

Daripada perbincangan yang telah dibuat, beberapa perkara utama perlu ditonjolkan agar perhatian yang lebih dapat diberikan. Dalam aspek kawalan proses, usaha ke arah pembentukan sistem kawalan optimum yang berdasarkan kepada keseluruhan loji perlu terus dikembangkan. Ianya perlu mengambilkira dinamik proses yang tidak lelurus, batasan-batasan operasi dan gangguan yang mungkin dialami oleh kesemua peringkat operasi.

Bagi aspek perancangan dan penjadualan pula, walaupun algoritma umum yang sesuai untuk semua keadaan tidak mungkin boleh dirumuskan, lebih banyak usaha perlu dibuat bagi mendekati keadaan yang unggul itu. Di samping itu, terdapat banyak lagi masalah khusus dalam operasi loji berkelompok yang perlu diberi perhatian.

Jurang antara aspek-aspek perancangan, penjadualan dan kawalan perlu ditutup dengan membentuk rangka kerja yang sesuai yang dapat menyepakatkan ketiga aspek tersebut. Penulis berpendapat, rangka kerja bebas yang boleh berhubung dengan kesemua aras operasi adalah lebih sesuai untuk dilaksanakan.

Rujukan

- Arkun, Y. & Stephanopoulos, G., "Studies in the synthesis of control structure for chemical processes", AIChE J. 26, 1975 (1980).
- Arkun, Y. & Stephanopoulos, G., "Studies in the synthesis of control structure for chemical processes, part V", AIChE J. 27, (1981).
- Benson, R. "Process System Engineering: Past, Present & Personal View of Future" Computers Chem. Engng 13 (11/12), 1193-1198, (1989)
- Chapman, D. "Planning for Conjunctive Goal", MIT AI Lab Technical Report AI-TR-802 (1985).
- Cou, B.J. & Macchietto, S. "Minimising effect of batch process variability using on-line schedule modification", Comp Chem Engng. 13 (1/2) 105-113 (1989a).
- Cou, B.J. & Macchietto, S. "An Integrated Approach to computer-aided operation of batch chemical plants", Comp Chem Engng, 13 (11/12) 1263-1271 (1989b).
- Egli, V.M. & Rippin, D.W.T. Comp. Chem. Engng. 10 (4), 303 (1986)
- Fikes R.E. & Nilson, N.J. "STRIPS : A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving", Artificial Intell. 2, 198 (1971).
- Fussilo, R.H. & Powers, G.J. "A Synthesis Method for Chemical Plant Operating Procedures", Comp. Chem. Engng., 11, 369-382 (1987)
- Govind,R. & Powers, G.J. " Control system synthesis strategies, AIChE J., 28, 60 (1982)
- Kinoshita, A., Umeda, T.,& O'Shima,E. "An Approach for Determination of Operating Procedure for Chemical Plant", PSE 2, 114-120 (1982)
- Kuriyan, K & Reklaitis G.V. "Scheduling network flowshops so as to minimise makespan", Comp Chem Engng 13 (1/2), 187 (1989)

- Lakshmanan, R. & Stephanopoulos, G. "Synthesis of operating procedure for complete plant - part I,II " Comp. Chem. Engng. 12 (9/10) 985-1002, 1003-1021 (1988)
- Lakshmanan, R. & Stephanopoulos, G. "Synthesis of operating procedure for complete plant - part III." Comp. Chem. Engng. 14 (3) 301-317 (1990)
- Manderli, A. & Rippin, D.W.T. Comp. Chem. Engng. 3, 199 (1979).
- Mehta, G.A. "The benefits of Batch Process Control" Chem Engng Prog., October, 47 (1983)
- Morari, M., Arkun, Y. & Stephanopoulos, G. "Integrated approach to synthesis of process control structure" Proc JACC (1977)
- Morari, M., Arkun, Y. & Stephanopoulos, G. "Studies in the synthesis of control structure for chemical processes, part I" AIChE J. 26, 220 (1980)
- Morari, M. & Stephanopoulos, G. "Studies in the synthesis of control structure for chemical processes, parts I,II,III " AIChE J. 26, 232,247 (1980a,1980b)
- Musier,R.F.H. & Evans, L.B. "An Approximate Method for the Production Scheduling of Industrial Processes with Parallel Units", Comp. Chem. Engng. 13, (1.2), 229-238 (1989)
- O'Shima, E. "Computer-aided plant operation" Comp Chem Engng 7 (4), 311 (1983)
- Rippin, D.W.T., "Design and operation of multi-product and multi-purpose batch chemical plants - an analysis of Problem structure", Comp Chem Engng, 7(4), 463 (1983)
- Rivas, J.R. & Rudd,D.F. "Synthesis of Failure-safe Operation", AIChE J., 20, 320-325 (1974)
- Stefik, M. "Planning with Constraints (MOLGEN Part1)", Artificial Intell. 16, 111-140 (1981)
- Takamatsu, T., Hashimoto, I & Hasabe, H. " Optimal Scheduling and Minimum Storage Tank : Capacities in a Process System with Parallel Batch Unit", Comp Chem Engng, 3, 185 (1979)
- Takamatsu, T., Hashimoto, I & Hasabe, H. " Optimal Design and Operation of a Batch Processes with Intermediate Storage Tanks", Ind Engng Chem Process Des Dev, 21, 431 (1982)
- Takamatsu, T., Hashimoto, I., Hasabe, H. & O'Shima, M. " Design of a Flexible Batch Proces with Intermediate Storage Tanks", Ind Engng Chem Process Des Dev, 23, 40 (1984)
- Tzouanas, V.K., Luyben,W.L., Georgakis, C.& Ungar, L.H. "Expert Multivariable Control.1.Structure & Design Methodology" Ind Eng Chem Res 29, 382-389 (1990a)
- Tzouanas, V.K., Luyben,W.L., Georgakis, C.& Ungar, L.H. "Expert Multivariable Control. 2. Application of EMC to two-product Distillation Column", Ind Eng Chem Res 29, 389-403 (1990b)
- Tzouanas, V.K., Luyben,W.L., Georgakis, C.& Ungar, L.H. "Expert Multivariable Control.3. Extension of EMC to Three Product Side stream Distillation column." Ind Eng Chem Res 29, 404-415 (1990c)
- Umeda, T., Kuriyama, T., Ichikawa, A. Proceeding IFAC Congress (1979)
- Wellons, M.C. & Reklaitis G.V., "Optimal Schedule generation for single product production line", Comp Chem Engng., 13 (1/2), 201-228 (1989).