

Struktur Dua Paras Terimbuhan Tanpa Penukaran Maklumat di Antara Unit Kawalan Tempatan

Andrew Yap Kian Chung¹ dan Marzuki Mustafa²

¹Unit Pengilangan dan Pemprosesan, MPOB
No.6 Persiaran Institusi, Bandar Baru Bangi,
43000 Kajang, Selangor

²Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor

Received Date: 13 April 2006 Accepted Date: 7 Februari 2006

ABSTRAK

Struktur dua paras terimbuhan tanpa penukaran maklumat di antara unit kawalan tempatan merupakan kembangan struktur tiga paras dengan suap balik maklumat masukan-keluaran yang terbukti memberikan penyelesaian optimum sebenar. Kebaikan struktur kawalan ini adalah tidak perlu mengira terbitan keluaran proses sebenar secara gangguan dan membolehkan masalah kawalan yang mengandungi kekangan ketidaksamaan, $G(c,y)$ yang tidak boleh dibezakan terhadap keluaran, y , diselesaikan. Kertas kajian ini meluaskan lagi penggunaan algoritma kawalan ini dengan penggunaan fungsi Lagrangian terimbuhan. Struktur kawalan ini mempunyai dua gelung pengoptimuman iaitu gelung pengoptimuman luaran dan gelung pengoptimuman dalaman. Gelung pengoptimuman luaran menentukan nilai optimum pekali Lagrange, λ menggunakan kaedah Arah Tasrifan Powell yang tidak memerlukan sebarang terbitan. Gelung pengoptimuman dalaman menentukan titik kawalan, c optimum bagi sesuatu nilai λ yang diberi dengan menggunakan kaedah Lagrangian terimbuhan. Keputusan pengujian menunjukkan bahawa gandingan antara pekali dendaan sebutan kuasa dua, ρ dan pekali kemaskini, ε yang sesuai dapat mengurangkan jumlah lelaran pengoptimuman titik kawalan optimum bagi masalah cembung. Julat nilai ε di antara 0.9 ke 1.2 adalah bersesuaian bagi struktur kawalan yang dikaji. Walau bagaimanapun nilai ρ yang besar diperlukan untuk menyelesaikan masalah tidak cembung.

Kata Kunci: Struktur dua paras terimbuhan, fungsi Lagrangian terimbuhan, gelung pengoptimuman, pekali Lagrange, kaedah Arah Tasrifan Powell

ABSTRACT

Augmented two level structure without information exchange between local control unit is expended from three level structure with input-output information feed back proven to be real optimum. The advantage of this control structure is no real process output derivatives by perturbation needed. Thus control problems with undifferentiable inequality constraint $G(c,y)$ with respect to output, y , can be easily solved. This research paper widens the usage of the control algorithms by using augmented Lagrangian function. This control structure is having two optimization loops which are external optimization loop and internal optimization loop. The external optimization loop determines optimum value of Lagrange multiplier, λ , using Powell

conjugate method without any derivation. The internal optimization loop determines optimum control set point, c for certain given value of λ . using augmented Lagrangian method. Simulation results show that appropriate combination of the square term multipliers, ρ and update multiplier, ϵ could reduce the amount of optimization calculation loop for convex problems. ϵ range from 0.9 to 1.2 is suitable for the structures. However big value of ρ is needed to solve non-convex problem.

Keywords: Augmented two level structure, Augmented Lagrangian function, Optimization loop, Lagrange multiplier, Powell conjugate method.

PENGENALAN

Tujuan sistem kawalan bagi suatu proses industri adalah mengekalkan pengendalian fasa pegun yang optimum. Secara umum, sistem kawalan proses industri mengandungi dua lapis. Lapisan kawalan terus bertujuan mengekalkan pembolehubah proses yang tertentu pada nilai titik set yang dikehendaki walaupun terdapat gangguan yang bertindak pada proses. Lapisan kawalan pengoptimuman bertujuan menentukan titik set optimum bagi pembolehubah proses yang perlu dikawal pada lapisan kawalan terus. Tujuan penyelidikan ini adalah mengaji kawalan optimum bagi struktur kawalan dua paras tanpa penukaran maklumat di antara unit kawalan tempatan yang dicadangkan oleh Brdys dan Roberts (1986) dengan menggunakan fungsi Lagrangian terimbuh. Lapisan kawalan terus yang cekap diandaikan sedia ada.

Sistem kawalan berskala besar boleh dinyatakan dalam suatu bentuk terurai dengan satu set pemetaan masukan-keluaran subsistem.

$$F_{ri} : C_i \times U_i \rightarrow Y_i \quad i \in \overline{1, N} \tag{1}$$

di sini N adalah bilangan subsistem dan C_i, U_i dan Y_i adalah ruangan berdimensi terhingga masing-masing untuk kawalan, masukan saling hubung dan keluaran.

$$y_i = F_{ri}(c_i, u_i) \quad i \in \overline{1, N} \tag{2}$$

dengan pembolehubah c_i, u_i dan y_i adalah kawalan subsistem, masukan saling hubung dan keluaran saling hubung masing-masing bagi subsistem ke- i dengan $c_i \in C_i, u_i \in U_i$ dan $y_i \in Y_i$.

Subsistem dihubungkan dengan persamaan struktur yang diandaikan berbentuk

$$u_i = H_{ij} y_j = \sum_{j \in \overline{1, N}} H_{ij} y_j \tag{3}$$

dengan H_{ij} adalah matriks saling hubung. Dinyatakan bahawa

$$\begin{aligned} c &\equiv (c_1, c_2, \dots, c_N) \in C_1 \times C_2 \times \dots \times C_N \equiv C \\ u &\equiv (u_1, u_2, \dots, u_N) \in U_1 \times U_2 \times \dots \times U_N \equiv U \\ y &\equiv (y_1, y_2, \dots, y_N) \in Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_N \equiv Y \end{aligned} \tag{4}$$

Dengan itu, persamaan subsistem dan persamaan struktur sistem boleh ditulis dalam bentuk berikut:

$$y = F^*(c, u), \quad u = Hy \tag{5}$$

dengan

$$\begin{aligned} F^* : C \times U \rightarrow Y, \quad F^*(c, u) &= \{F_{r1}(c_1, u_1), \dots, \\ &F_{rN}(c_N, u_N)\} \\ H &= H_{ij} \quad i, j \in \overline{1, N} \end{aligned} \tag{6}$$

Setiap titik kawalan $c \in C$ wujud suatu penyelesaian tepat bagi persamaan

$$y = F^*(c, Hy) \tag{7}$$

iaitu wujud satu keluaran yang tepat dalam saling hubung sistem yang sebenar. Dengan ini keseluruhan sistem boleh dinyatakan dengan satu pemetaan

$$\begin{aligned} K^* : C \rightarrow Y, \quad \text{iaitu } y^i = K^*(c) &= \{ \\ &\{K_{r1}(c), \dots, K_{rN}(c)\} \end{aligned} \tag{8}$$

Hubungan sistem yang sebenar diandaikan tidak diketahui dengan tepat lalu model penghampiran digunakan.

$$F_i : C_i \times U_i \times A_i \rightarrow Y_i; \quad y_i = F_i(c_i, u_i, \alpha_i) \tag{9}$$

dengan A_i adalah suatu ruangan berdimensi terhingga dan $\alpha_i \in A_i$ adalah pembolehubah parameter model bagi subsistem ke- i .

Matriks saling hubung diandaikan diketahui dengan tepat. Pemetaan $F : C \times U \times A \rightarrow Y$ dengan $A \equiv A_1 \times A_2 \times \dots \times A_N$ membentuk F_i dan pemetaan $K : C \times A \rightarrow Y$ mewakili model termasuk saling hubung boleh ditakrifkan masing-masing.

Kekangan tempatan diandaikan wujud, dengan itu:

$$(c_i, u_i, y_i) \in C_i, U_i, Y_i \equiv \{(c_i, u_i, y_i) \in C_i \times U_i \times Y_i : G_{ij}(c_i, u_i, y_i) \leq 0 ; j \in J_i\} \quad (10)$$

Pemetaan G_i diandaikan diketahui dengan tepat. Setiap subsistem membentuk fungsi pencapaian tempatan:

$$Q_i : C_i \times U_i \times Y_i \rightarrow R \quad (11)$$

dan fungsi pencapaian keseluruhan sistem diandaikan berbentuk

$$Q(c, u, y) = \sum_{i=1}^N Q_i(c_i, u_i, y_i) \quad (12)$$

Kawalan optimum sistem sebenar adalah untuk memperoleh titik kawalan optimum c_{opt} bagi sesuatu masalah kawalan optimum

$$\min_{c, u, y} Q(c, u, y)$$

tertakluk kepada

$$y = F_*(c, u) ; u = Hy \quad (13)$$

$$G(c, u, y) \leq 0$$

Diandaikan bahawa kedua-dua ukuran keluaran dan masukan sistem sebenar boleh didapati, masalah kawalan optimum boleh ditulis sebagai (Brdys & Roberts 1986):

$$\min_{c, v, \alpha} [q(c, HK^*(v), \alpha) + 0.5\rho \|v - c\|^2]$$

tertakluk kepada kekangan

$$g(c, HK^*(v), \alpha) \leq 0 \quad (14)$$

$$F(v, HK^*(v), \alpha) = K^*(v)$$

$$v = c$$

Model matematik yang digunakan diandaikan adalah parameter titik pada suatu set $\pi_{c,u}(C, U, Y)$ iaitu bagi setiap $(c, u) \in \pi_{c,u}(C, U, Y)$ wujud $\alpha \in A$ agar $F_*(c, u) = F(c, u, \alpha)$. Sekiranya masalah kawalan optimum adalah tidak cembung, titik optimum tidak akan diperolehi bagi semua nilai λ dalam paras pengoptimuman lalu menyebabkan struktur kawalan dua paras ini gagal menyelesaikan masalah pengoptimuman pada keseluruhannya. Kelemahan ini dapat diatasi dengan menggunakan kaedah Lagrangian terimbuh agar matriks Hessian masalah kawalan optimum yang tidak cembung sentiasa positif tertakrif (Lowe & Pierre 1975).

Fungsi Lagrangians yang terbentuk dengan masalah di atas adalah

$$L_a(c, v, \alpha, \lambda, \xi, \mu, \rho) = L(\cdot) + 0.5\rho \|v - c\|^2 \quad (15)$$

disini

$$L(\cdot) = q(c, HK^*(v), \alpha) + \lambda^T (v - c) + \xi^T g(c, HK^*(v), \alpha) + \mu^T [F(v, HK^*(v), \alpha) - K^*(v)] \quad (15)$$

Keadaan Kuhn-Tucker yang diterbitkan adalah

$$\nabla_c L_a = [(\partial^T q(c, HK^*(v), \alpha))/\partial c] - \lambda + \xi^T [(\partial^T g(c, HK^*(v), \alpha))/\partial c] - \rho(v - c) = 0 \quad (16)$$

$$\nabla_v L_a = [(\partial^T q(c, HK^*(v), \alpha))/\partial v] + \lambda + \xi^T [(\partial^T g(c, HK^*(v), \alpha))/\partial v] + \mu^T [(\partial^T F(v, HK^*(v), \alpha))/\partial v - (\partial K^*(v))/\partial v] + \rho(v - c) = 0 \quad (17)$$

$$\nabla_\alpha L_a = [\partial^T q(c, HK^*(v), \alpha)/\partial \alpha] + [\partial^T g(c, HK^*(v), \alpha)/\partial \alpha] \xi + [\partial^T F(v, HK^*(v), \alpha)/\partial \alpha] \mu = 0 \quad (18)$$

$$\nabla_\lambda L_a = v - c = 0 \quad (19)$$

$$\nabla_\mu L_a = F(v, HK^*(v), \alpha) - K^*(v) = 0 \quad (20)$$

$$\xi_j g_{ij}(c_i, H_i K^*(v), \alpha_i) = 0 \quad (21)$$

$$\xi_{ij} \geq 0 ; j \in J_i ; i \in \overline{1, N} \quad (22)$$

Penyelesaian persamaan serentak di atas memberikan masalah pengoptimuman

$$\min_c [q(c, HK^*(v), \alpha) - \lambda^T c + 0.5\rho \|v - c\|^2]$$

tertakluk kepada kekangan

$$g(c, HK^*(c), \alpha) \leq 0 \quad (23)$$

pada suatu nilai λ dan α yang diberi. Persamaan asas adalah (Brdys & Roberts, 1986)

$$\hat{c}(\lambda, \hat{\alpha}(v), v) = v \quad (24)$$

Katakan Λ adalah set bagi semua nilai λ yang wujud satu penyelesaian $v(\lambda)$ bagi masalah pengoptimuman di atas, masalah penyesuaian berikut diperolehi (Brdys & Roberts 1986)

$$\min_{\lambda} [q_f(\lambda) \equiv q(v_f(\lambda), HK^*(v_f(\lambda)), \alpha(v_f(\lambda)))]$$

tertakluk kepada $\lambda \in \Lambda$ (25)

Pengoptimuman pada paras ini hanya dapat dilakukan berdasarkan kepada nilai fungsi sahaja kerana hubungan fungsi $q(\lambda)$ yang tepat tidak diketahui (Chen & Roberts 1984). Dengan ini terbitan pertama $q'(\lambda)$ juga tidak diperolehi dan syarat berhenti algoritma bagi paras atasan harus berdasarkan kepada fungsi pencapaian. Paras bawahan merupakan teknik gelung tunggal imbuhan pembolehubah (Abdullah 1988). Rajah 1 menunjukkan struktur kawalan dua paras tanpa penukaran maklumat di antara unit kawalan tempatan. Rajah 2 menunjukkan carta alir bagi struktur kawalan tersebut di atas yang boleh dipertimbangkan sebagai kawalan kaedah Price terurai dengan penyelarasan penuh (Findeien et al. 1980) bergabung dengan satu langkah penyesuaian parameter model sistem berdasarkan ukuran keluaran dan masukan sebenar subsistem (Brdys & Roberts 1986).

MASALAH SIMULASI

Empat masalah kawalan telah digunakan untuk kajian simulasi struktur dua paras terimbuhan tanpa penukaran maklumat di antara unit kawalan tempatan. Dalam masalah kawalan pertama, suatu sistem terkawal yang terdiri daripada tiga subsistem. Persamaan indeks pencapaian bagi subsistem masing-masing diberikan dalam persamaan (26).

Subsistem 1

$$\begin{aligned} y_1 &= c_1 - c_2 + 2u_{11} + \alpha_1 \\ y_1^* &= 1.3c_1 - c_2 + 2u_{11} + 0.15u_{11}c_1 \\ Q_1(c,u) &= (u_{11} - 1)^4 + 5(c_1 + c_2 - 2)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} c_1^2 + c_2^2 &\leq 1 \\ 0 &\leq u_{11} \leq 0.5 \end{aligned}$$

Subsistem 2

$$\begin{aligned} y_2 &= c_3 - c_4 + u_{21} - 3u_{22} + \alpha_2 \\ y_3 &= 2c_4 - c_5 - u_{21} + u_{22} + \alpha_3 \\ y_2^* &= c_3 - c_4 + 1.2u_{21} - 3u_{22} + 0.1c_4^2 \\ y_3^* &= 2c_4 - 1.25c_5 - u_{21} + u_{22} + 0.25c_4c_5 + 0.1 \\ Q_2(c,u) &= 4u_{21}^2 + u_{22}^2 + 2(c_3 - 2)^2 + c_4^2 + 3c_5^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 0.5c_3 + c_4 + 2c_5 &\leq 1 \\ 4c_3^2 + 2u_{21}c_3 + 0.4u_{21} + c_3c_5 + 0.5c_5^2 + u_{21}^2 &\leq 4 \end{aligned}$$

Subsistem 3

$$\begin{aligned} y_4 &= c_6 + 2.5c_7 - 4y_3 + \alpha_4 \\ y_4^* &= 0.8c_6 + 2.5c_7 - 4.2u_{31} \\ Q_3(c,u) &= (u_{31} - 1)^2 + (c_6 + 1)^2 + 2.5c_7^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan.

$$\begin{aligned} 0 &\leq c_7 \leq 1 \\ c_6 + u_{31} + 0.5 &\geq 0 \end{aligned}$$

Matriks saling hubung adalah

$$H = \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 0001 \\ 0010 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Masalah kawalan kedua mempunyai fungsi objektif yang ditunjukkan dalam persamaan (27) tertakluk kepada kekangan setempat yang dinyatakan.

Subsistem 1

$$\begin{aligned} y_1 &= 1.4375c_1 - 0.1875c_2 + 1.5u_{11} + \alpha_1 \\ y_1^* &= c_1 - c_2 + 2u_{11} - 0.5c_1^2 + 0.5u_{11}(c_1 + c_2 - 2) \\ Q_1(c,u) &= c_1^2 + (c_2 - 2)^2 + (u_{11} - 1)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 1.006 - c_1 - u_{11} &\geq 0 \\ |c_1| &\leq 0.5 \\ 0 &\leq c_2 \leq 2.5 \end{aligned}$$

Subsistem 2

$$\begin{aligned} y_2 &= 0.5c_3 - 1.5c_4 + u_{21} - 2u_{22} + \alpha_2 \\ y_3 &= 2.5c_4 - 0.5c_5 - u_{21} + 1.5u_{22} + \alpha_3 \\ y_2^* &= c_3 - c_4 + u_{21} - 3u_{22} \\ y_3^* &= 2c_4 - c_5 - u_{21} + u_{22} \\ Q_2(c,u) &= (c_3 - 2)^2 + c_4^2 + 3c_5^2 + 4u_{21}^2 + u_{22}^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

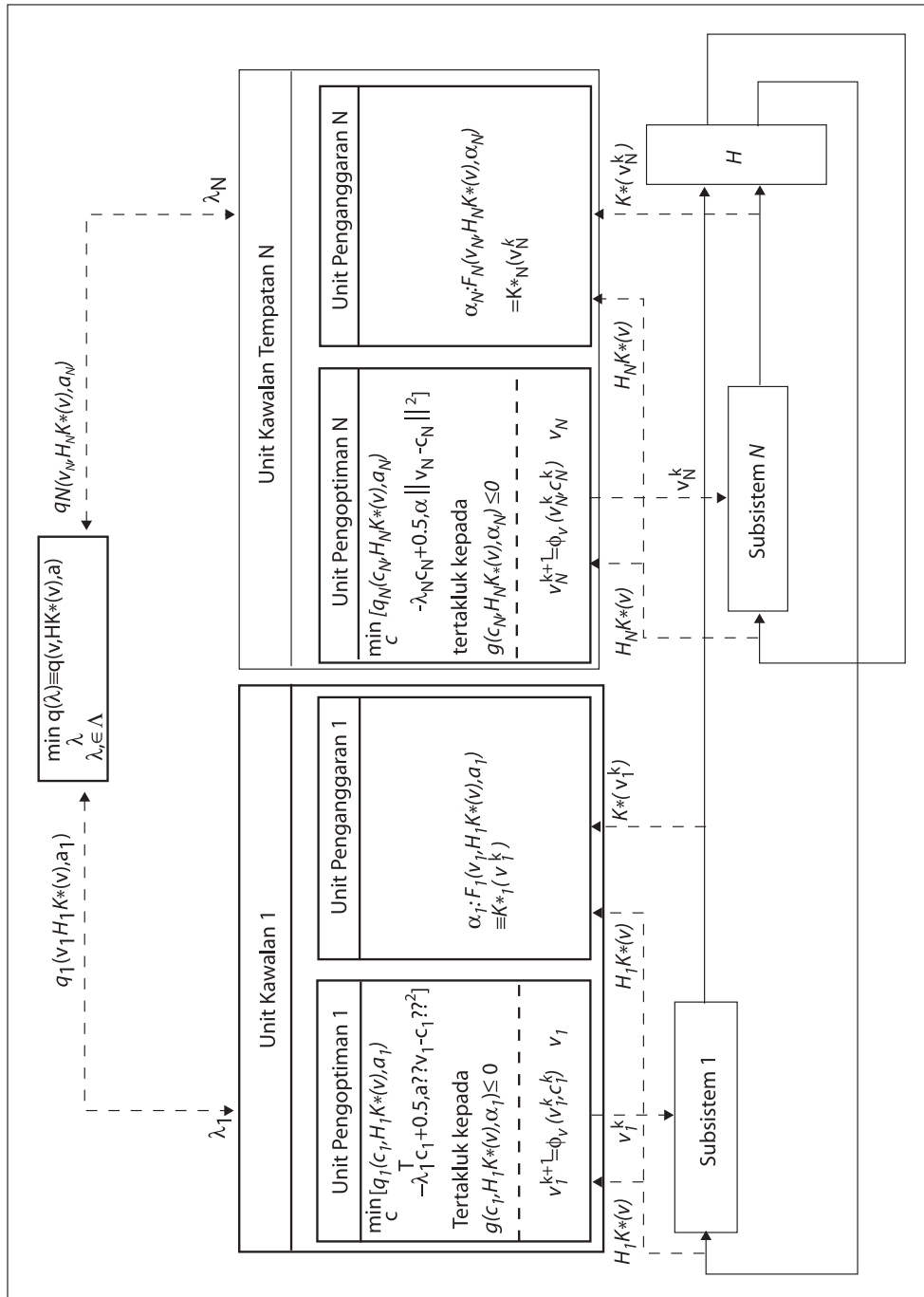
$$\begin{aligned} 0 &\leq c_3 \leq 2 \\ |c_i| &\leq 0.5; i = 4, 5. \end{aligned}$$

Subsistem 3

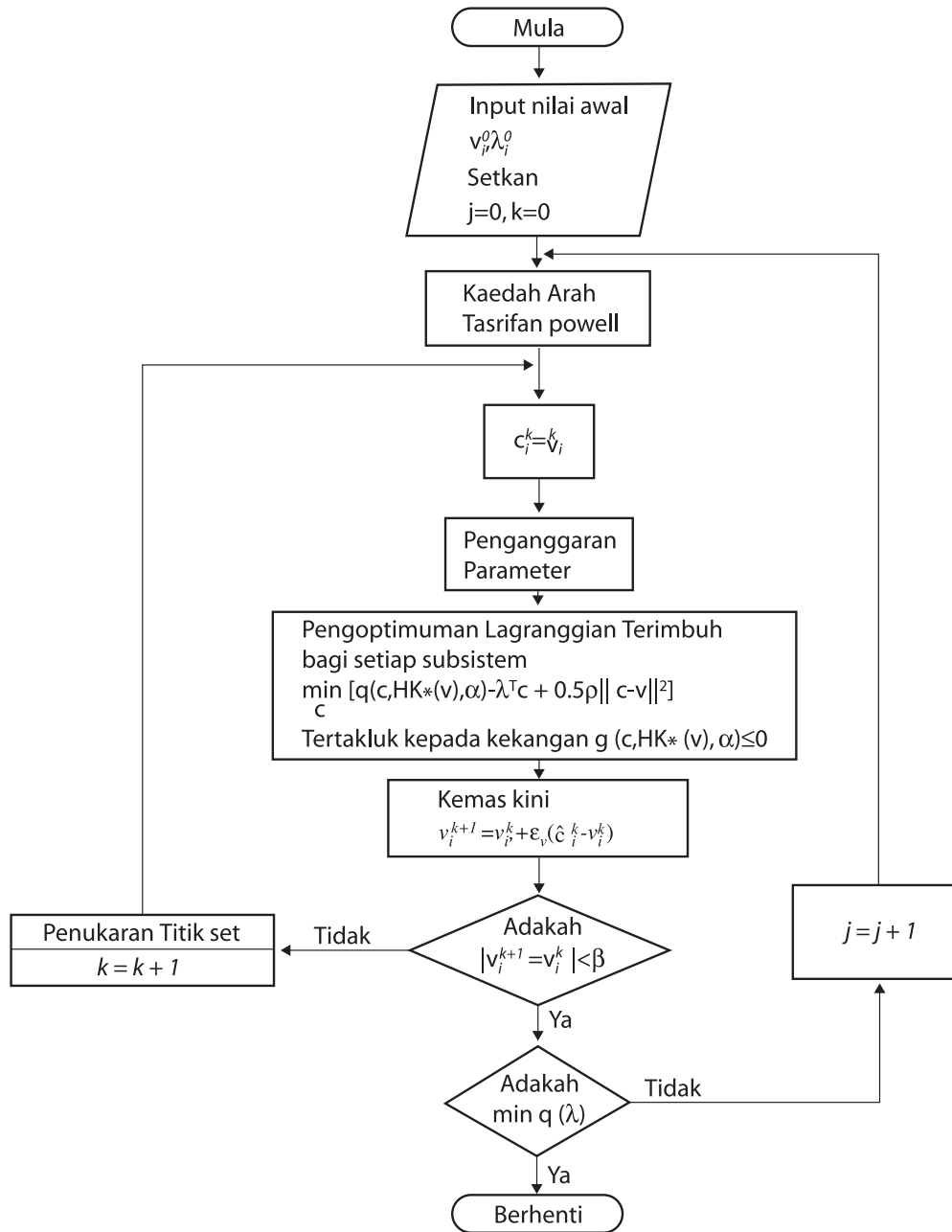
$$\begin{aligned} y_4 &= 1.25c_6 - 3u_{31} + \alpha_4 \\ y_4^* &= c_6 - 4u_{31} + 0.5u_{31}c_6 \\ Q_3(c,u) &= (c_6 + 1)^2 + (u_{31} - 1)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 0.375 + 2.25c_6 - 2.75u_{31} - y_4 &\geq 0 \\ |c_6| &\leq 0.5 \end{aligned}$$



RAJAH 1. Struktur Kawalan Dua Paras Tanpa Penukaran Maklumat Antara Unit Kawalan Tempatan



RAJAH 2. Carta Alir Struktur Dua Paras Tanpa Penukaran Maklumat Antara Unit Kawalan Tempatan Dengan Suap Balik Masukan-Keluaran

Matriks saling hubung adalah

$$H = \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 0001 \\ 0010 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Masalah kawalan ketiga mempunyai dua subsistem dengan fungsi objektif dan kekangan setempat yang ditunjukkan dalam persamaan (28).

Subsistem 1

$$\begin{aligned} y_1 &= c_1 - c_2 + 2y_2 + \alpha_1 \\ y_1^* &= 1.4c_1 - 0.6c_2 + 1.8y_2^* \\ Q_1(c,u) &= c_1^2 + c_2^2 + 2(u_{11}-2)^2 + (u_{12}-3)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 0.8 - c_2 - 0.6u_{11} &\geq 0 \\ |c_i| &\leq 1 ; i = 1,2 \\ y_1 &\geq 0 \end{aligned}$$

Subsistem 2

$$\begin{aligned} y_2 &= c_3 - c_4 + u_{21} + \alpha_2 \\ y_3 &= 2c_4 - c_5 - u_{21} + \alpha_3 \\ y_2^* &= 1.3c_3 - 1.1c_4 + 1.1u_{21} \\ y_3^* &= 2.3c_4 - 0.7c_5 - 1.1u_{21} \\ Q_2(c,u) &= c_3^2 + c_4^2 + c_5^2 + (u_{21}-1)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 2.04 + 1.05y_1 - c_3^2 - c_4^2 - c_5^2 &\geq 0 \\ |c_i| &\leq 1 ; i = 3,4,5. \\ y_i &\geq 0 ; i = 2,3. \end{aligned}$$

Matriks saling hubung adalah

$$H = \begin{bmatrix} 010 \\ 001 \\ 100 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Masalah kawalan keempat mempunyai dua subsistem dengan fungsi objektif dan kekangan setempat yang ditunjukkan dalam persamaan (29).

Subsistem 1

$$\begin{aligned} y_1 &= 1.7c_1 - 0.5c_2 + y_2 + \alpha_1 \\ y_2^* &= 2.2c_3 - 0.2c_4 + 0.9y_1 + 0.1c_3c_4 \\ Q_1(c,y) &= 0.5(u_{11}-1)^2 - c_1^2 - c_2^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} c_1^2 + c_2^2 &\leq 1 \\ |c_i| &\leq 1 ; i = 1,2 \\ |y_1| &\leq 1 \end{aligned}$$

Subsistem 2

$$\begin{aligned} y_2 &= 2.2c_3 - 0.2c_4 + 0.5u_{21} + \alpha_2 \\ y_1^* &= 2.0c_1 - c_2 + 0.6y_2^* + 0.15c_1y_2^* \\ Q_2(c,u) &= c_3^2 + c_4^2 - 0.5(u_{21}-2)^2 \end{aligned}$$

tertakluk kepada kekangan tempatan

$$\begin{aligned} 0.5c_3 + c_4 &\leq 1 \\ |c_i| &\leq 1 ; i = 3,4. \\ 0 &\leq y_2 \leq 0.5 \end{aligned}$$

Matriks saling hubung adalah

$$H = \begin{bmatrix} 01 \\ 10 \end{bmatrix} \quad (29)$$

KEPUTUSAN

Jadual 1, 2, 3 dan 4 menunjukkan kesan pekali terhadap kekerapan penukaran titik set manakala Rajah 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan jumlah lalaran pengoptimuman bagi masalah simulasi 1, 2, 3 dan 4 masing-masing. Jadual 5 menunjukkan bilangan perubahan titik set dan pekali parameter Lagrange λ pada titik optimum.

PERBINCANGAN

Struktur kawalan berhierarki yang dikaji adalah bagi proses industri berskala besar untuk kawalan optimum fasa pegun. Struktur kawalan ini dicadangkan dan dikaji oleh Brdys dan Roberts (1986) dengan menggunakan kaedah pengoptimuman Langrangian biasa yang didapati tidak dapat menyelesaikan masalah tidak cembung (Abdullah 1988) dan dikembangkan menggunakan kaedah Langrangian terimbuh.

Rumusan masalah kawalan optimum bagi kedua-dua struktur kawalan adalah bersamaan dengan rumusan pengoptimuman secara Langrangian biasa seperti yang dikaji oleh Brdys dan Roberts (1986) sekiranya pekali Lagrange, ρ adalah sifar. Keputusan simulasi menunjukkan penumpuan kaedah Langrangian terimbuh adalah lebih pantas berbanding kaedah Langrangian pada sesuatu nilai pekali Lagrange, ρ dan pekali kemaskini, ϵ yang tertentu.

Kelebihan struktur kawalan yang dikaji adalah tidak perlu mengira nilai pekali Lagrange, λ secara

JADUAL 1. Kesan Pekali Terhadap Kekerapan Penukaran Titik Set bagi Masalah 1

$\rho \setminus \epsilon$	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5
0.0	2529	736	658	616	1409	1466	1493	1566
0.3	10369	3412	1743	849	667	1438	1496	1554
0.5	1594	1519	1467	710	664	746	1405	1437
0.7	1618	844	740	712	1426	1595	1660	1717
0.9	2283	828	815	764	721	1560	1661	1734
1.0	2752	2320	1634	742	580	736	1388	1506
1.1	2493	823	766	710	681	819	1442	1794
1.2	1706	1547	849	841	714	643	683	793
1.5	825	730	661	542	654	676	694	805

JADUAL 2. Kesan Pekali Terhadap Kekerapan Penukaran Titik Set bagi Masalah 2

$\rho \setminus \epsilon$	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5
0.0	5276	4559	4519	4242	4042	4401	4530	4687
0.3	5220	5075	4464	4157	1535	4075	4417	4549
0.5	4951	4479	4476	3758	4357	4421	4917	5259
0.7	4601	4341	3340	1611	4675	4689	5677	5840
0.9	4899	4635	4403	3033	2348	3965	4270	4700
1.0	4674	4461	4461	4460	4400	4489	4876	6020
1.1	5065	4793	4495	4483	4451	4404	431	4086
1.2	5763	5333	5155	4244	3316	4229	4294	4370
1.5	5764	5034	4981	3683	3741	4292	4295	4472

JADUAL 3. Kesan Pekali Terhadap Kekerapan Penukaran Titik Set bagi Masalah 3

$\rho \setminus \epsilon$	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5
0.0	17693	11357	9612	6779	5645	426	3581	4251
0.3	16254	15515	7124	4984	4320	659	4709	5035
0.5	8432	6832	1344	389	3461	3891	4473	4855
0.7	2219	2089	1987	1623	1292	1484	1764	2126
0.9	6863	4184	2277	2131	1525	470	1788	2282
1.0	2029	1914	1804	386	1415	1422	1706	1712
1.1	1845	1823	1805	1704	1390	1570	1519	1649
1.2	1952	1864	1813	1787	1843	1910	1946	2040
1.5	11856	11455	9044	6226	5931	6810	10155	11719

JADUAL 4. Kesan Pekali Terhadap Kekerapan Penukaran Titik Set bagi Masalah 4

$\rho \setminus \varepsilon$	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5
2000	553	522	306	242	320	529	531	551
2500	343	327	300	286	283	286	318	332
3000	324	319	306	307	286	304	315	323
3500	360	325	313	325	309	342	362	393
4000	529	425	321	249	293	332	371	488

JADUAL 5. Bilangan Perubahan Nilai Titik Set dan Pekali Lagrange λ

	Masalah 1	Masalah 2	Masalah 3	Masalah 4
ρ_{optimum}	1.5	1.1	1.0	2000
$\varepsilon_{\text{optimum}}$	0.9	1.2	0.9	0.9
Bil. Titik Set	542	431	386	242
Lelaran λ	3	2	2	2

gangguan mengikut rumusan yang tertentu. Nilai λ yang diperlukan dalam struktur kawalan yang dikaji diperolehi dengan pengoptimuman kaedah arah tasrifan Powell (Chen & Roberts 1986) tanpa mengganggu sistem dengan kerap.

Keputusan simulasi dalam Jadual 1 bagi masalah 1 menunjukkan bahawa penambahan sebutan dendaan kuasa dua dalam kaedah dua paras terimbuh dapat mengurangkan kekerapan penukaran titik set dengan ketara berbanding kaedah dua paras biasa. Apabila Lagrangians biasa, iaitu $\rho = 0$ digunakan, bilangan penukaran titik set yang minimum didapati pada nilai pekali kemas kini, $\varepsilon = 0.9$, iaitu sebanyak 828 penukaran titik set. Dengan menggunakan imbuhan $\rho = 1.1$, bilangan penukaran titik set yang minimum iaitu sebanyak 523 penukaran titik set merupakan pengurangan sebanyak 36.84% didapati pada $\varepsilon = 1.5$. Pengurangan penukaran titik set juga diperhatikan pada suatu nilai pekali kemas kini dengan imbuhan. Sebagai contoh, pada $\varepsilon = 1.0$, imbuhan $\rho = 1.5$ mengurangkan penukaran titik set sehingga 543 yang merupakan pengurangan didapati sebanyak 34.89%. Begitu juga pada $\varepsilon = 0.3$, imbuhan $\rho = 1.2$ mengurangkan bilangan penukaran titik set sebanyak 27.12% iaitu 645 berbanding 885 menggunakan Lagrangians biasa, $\rho=0$.

Keputusan simulasi dalam Jadual 2 bagi masalah 2 menunjukkan bahawa penambahan

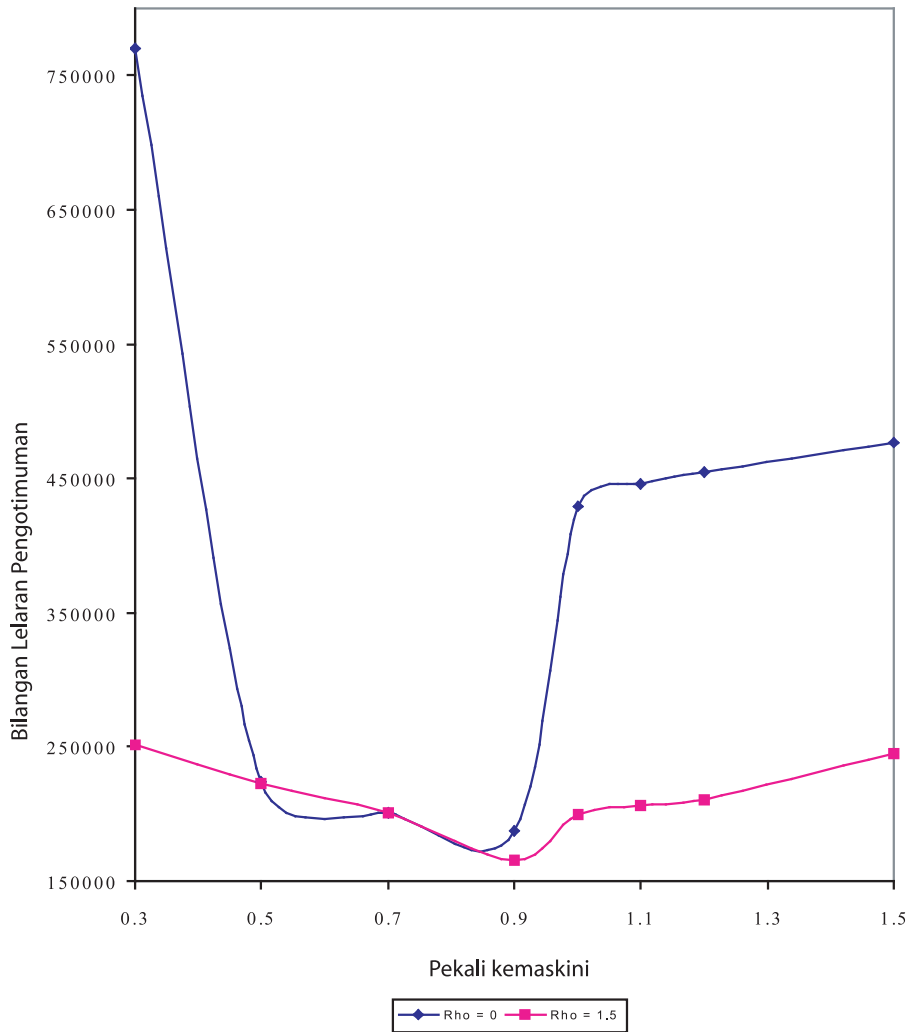
sebutan dendaan kuasa dua dalam kaedah dua paras terimbuh dapat mengurangkan kekerapan penukaran titik set berbanding kaedah dua paras biasa. Apabila Lagrangians biasa, iaitu $\rho = 0$ digunakan, bilangan penukaran titik set yang minimum didapati pada nilai pekali kemas kini, $\varepsilon = 0.7$, iaitu sebanyak 434 penukaran titik set. Dengan menggunakan imbuhan $\rho = 1.1$, bilangan penukaran titik set yang minimum iaitu sebanyak 431 penukaran titik set merupakan pengurangan sebanyak 0.69% didapati pada $\varepsilon = 1.2$. Pengurangan penukaran titik set juga diperhatikan pada suatu nilai pekali kemas kini dengan imbuhan. Sebagai contoh, pada $\varepsilon = 1.0$, imbuhan $\rho = 0.9$ mengurangkan penukaran titik set sehingga 436 yang merupakan pengurangan sebanyak 5.63% didapati. Begitu juga pada $\varepsilon = 1.1$, imbuhan $\rho = 1.1$ mengurangkan bilangan penukaran titik set sebanyak 21.36% iaitu 438 berbanding 557 menggunakan Lagrangians biasa, $\rho=0$. Dengan ini imbuhan, ρ mengurangkan kekerapan penukaran titik set.

Keputusan simulasi dalam Jadual 3 bagi masalah 3 menunjukkan bahawa penambahan sebutan dendaan kuasa dua dalam kaedah dua paras terimbuh dapat mengurangkan kekerapan penukaran titik set berbanding kaedah dua paras biasa. Apabila Lagrangians biasa, iaitu $\rho = 0$ digunakan, bilangan penukaran titik set yang minimum didapati pada nilai pekali kemas

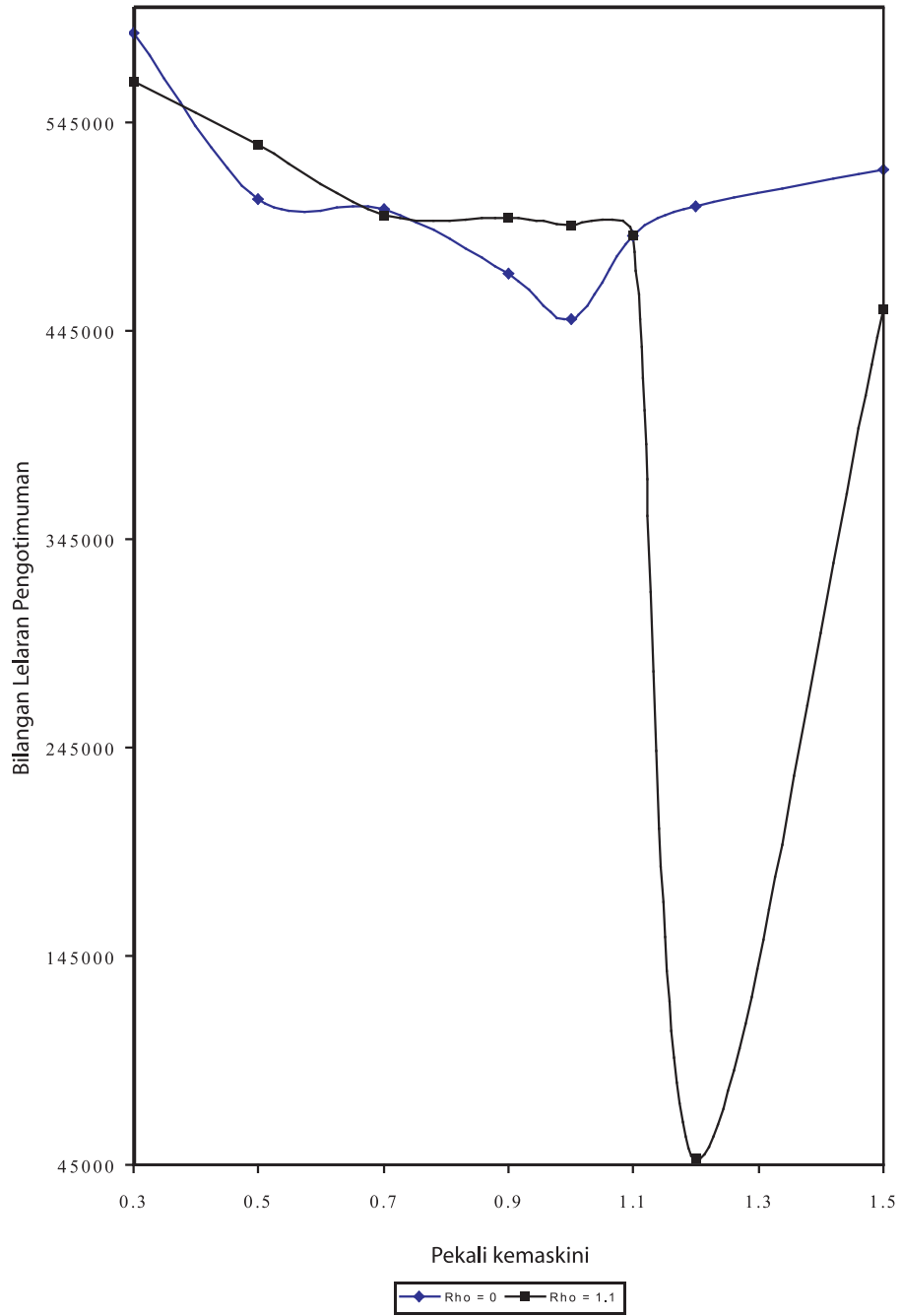
kini, $\epsilon = 0.7$, iaitu sebanyak 484 penukaran titik set. Dengan menggunakan imbuhan $\rho = 1.0$, bilangan penukaran titik set yang minimum iaitu sebanyak 386 penukaran titik set merupakan pengurangan sebanyak 20.25% didapati pada $\epsilon = 0.9$. Pengurangan penukaran titik set juga diperhatikan pada suatu nilai pekali kemas kini dengan imbuhan. Sebagai contoh, pada $\epsilon = 1.0$, imbuhan $\rho = 1.5$ mengurangkan penukaran titik set sehingga 398 yang merupakan pengurangan

sebanyak 19.92% didapati. Begitu juga pada $\epsilon = 0.7$, imbuhan $\rho = 1.0$ mengurangkan bilangan penukaran titik set sebanyak 17.36% iaitu 400 berbanding 484 menggunakan Lagrangians biasa, $\rho = 0$.

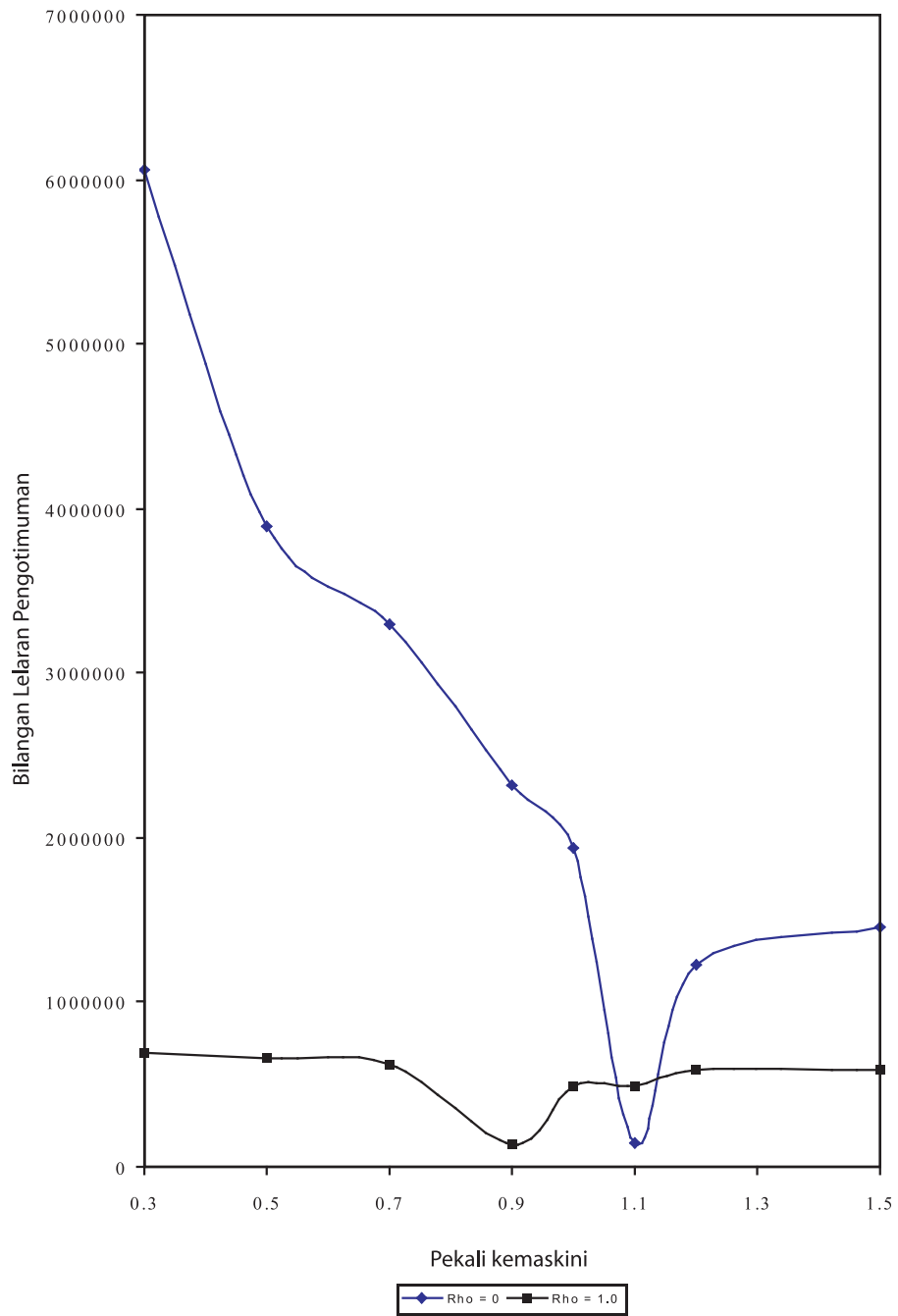
Walau bagaimanapun, Teknik Dua Paras Terimbuhan berjaya menyelesaikan masalah tidak cembung seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4 dengan penggunaan pekali dendaan kuasa dua, ρ yang bernilai besar iaitu $\rho = 2000$ dan $\epsilon =$

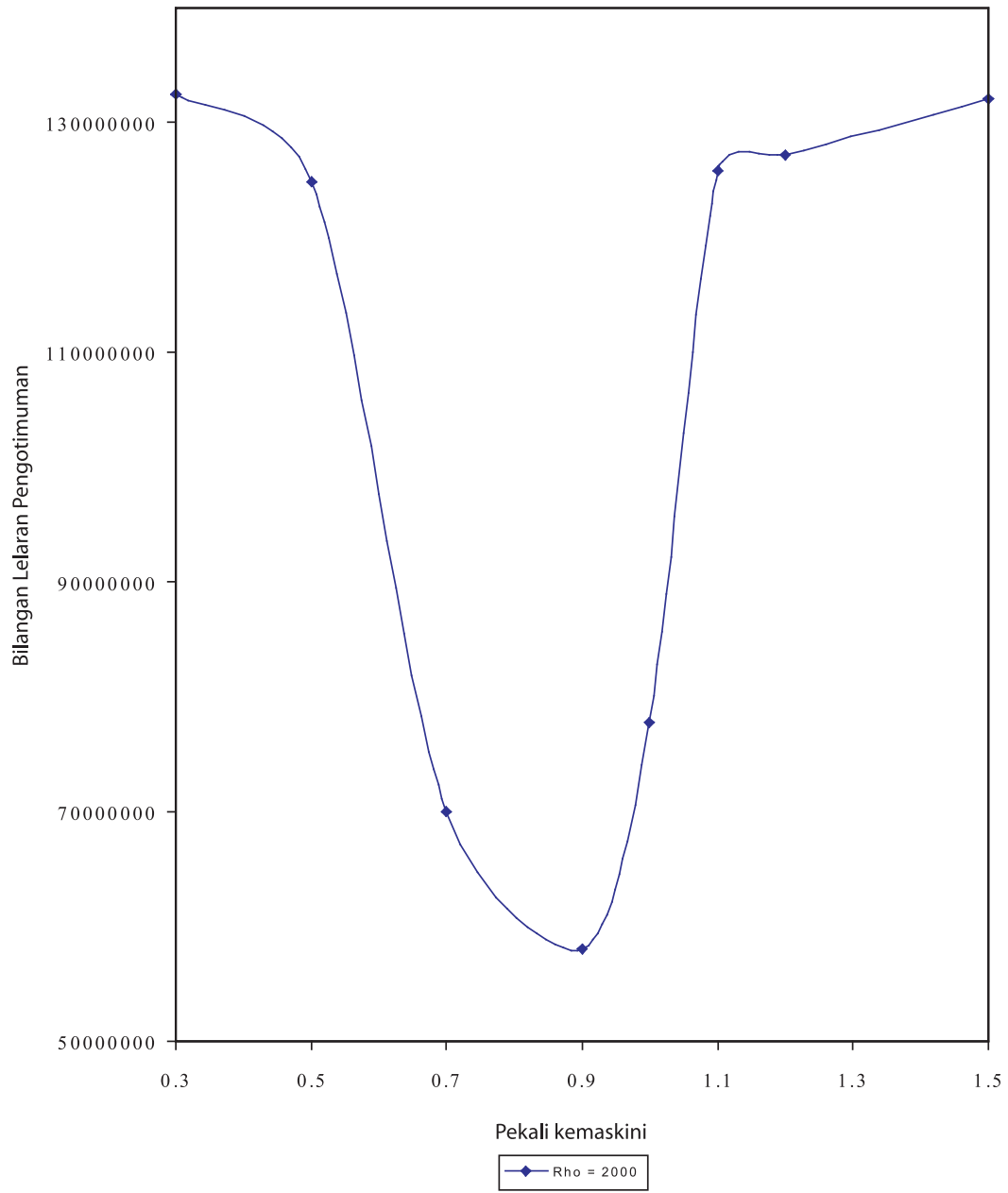


RAJAH 3. Graf Kesan Pekali Lagrange Bagi Masalah 1



RAJAH 4. Graf Kesan Pekali Lagrange Bagi Masalah 2

**RAJAH 5.** Graf Kesan Pekali Lagrange Bagi Masalah 3



RAJAH 6. Graf Kesan Pekali Lagrange Bagi Masalah 4

0.9 memberikan gandingan optimum dengan bilangan penukaran titik set sebanyak 242. Penambahan sebutan dendaan kuasa dua dalam Teknik Dua Paras Terimbuah mencembungkan fungsi objektif lalu memudahkan penumpuan (Brdys et. al. 1987).

Nilai pekali kemas kini, ε menentukan saiz langkah setiap lelaran menuju ke titik optimum. Nilai pekali kemas kini yang kecil akan memerlukan lelaran yang banyak untuk menumpu ke titik optimum manakala nilai pekali kemas kini yang besar berkemungkinan terlepas titik optimum. Jadual 5 menunjukkan julat nilai antara 0.9 ke 1.2 adalah bersesuaian bagi struktur kawalan yang dikaji.

Jadual 1, 2, 3 dan 4 bersama Rajah 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan jumlah lelaran pengoptimuman adalah berkadar dengan kekerapan penukaran titik set. Ini bermakna semakin kerap titik set ditukar, semakin banyak lelaran pengoptimuman lalu menyebabkan semakin lama masa komputer.

KESIMPULAN

Kaedah Lagrangian terimbuah mempercepatkan penumpuan bagi masalah kawalan cembung

TATANAMA

A	Set nilai mungkin parameter penganggaran	g	Fungsi kekangan ketaksamaan model
A_i	Pembolehubah parameter model bagi subsistem ke- i	i	Pembolehubah bilang
C	Set nilai mungkin pembolehubah kawalan	j	Pembolehubah bilang
F	Model penghampiran keluaran sistem	k	Pembilang lelaran
F_i	Model penghampiran keluaran subsistem ke- i	p	Pekali kos
F_*	Model sebenar keluaran sistem	q	Indeks pencapaian model
G	Fungsi kekangan ketaksamaan yang bertindak	u	Pembolehubah masukan saling hubung
H	Matriks saling hubung	v	Titik set semasa
K_s	Ukuran keluaran sistem sebenar	y	Keluaran model sistem
L_a	Fungsi Lagrangian terimbuah	y^*	Keluaran sebenar sistem
N	Bilangan pembolehubah	Δ	Set nilai mungkin pekali Lagrange bagi pembolehubah kawalan
Q	Indeks pencapaian sistem	Ω	Set titik penyelesaian mungkin
U	Set nilai mungkin masukan saling hubung	α	Parameter anggaran
Y	Set nilai mungkin keluaran model sistem	ε	Pekali kemas kini
Y_*	Set nilai mungkin keluaran sistem sebenar	λ	Pekali Lagrange bagi pembolehubah kawalan
c	Pembolehubah kawalan	μ	Pekali Lagrange bagi kekangan kesamaan
c_{opt}	Pembolehubah kawalan optimum	ρ	Pekali dendaan sebutan kuasa dua
		ξ	Pekali Lagrange bagi kekangan ketaksamaan
		$\pi_{c,u}$	Set titik kawalan yang mungkin

dan berjaya menyelesaikan masalah kawalan tidak cembung. Struktur kawalan dua paras tanpa penukaran maklumat di antara unit kawalan tempatan memberikan penyelesaian optimum tanpa mengganggu sistem dengan kerap. Kaedah Lagrangian terimbuah mempercepatkan penumpuan bagi masalah kawalan cembung pada sesuatu nilai pekali Lagrange, ρ dan pekali kemas kini, ε yang tertentu dan berjaya menyelesaikan masalah kawalan tidak cembung dengan penggunaan ρ yang bernilai besar. Julat nilai ε antara 0.9 ke 1.2 adalah bersesuaian bagi struktur kawalan yang dikaji. Pada keseluruhannya, jumlah lelaran pengoptimuman adalah berkadar dengan kekerapan penukaran titik set.

PENGHARGAAN

Penghargaan yang setinggi-tingginya dirakamkan kepada Dr. Normah Abdullah, pensyarah Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Universiti Kebangsaan Malaysia, atas bimbingan, cadangan dan nasihat beliau dalam projek penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Abdullah N. 1988. Augmented Integrated System Optimisation and Parameter Estimation Techniques for On-Line Hierarchical Control of Large Scale Industrial Processes. PhD Thesis. The City University, London,
- Brdys M. dan Robert P.D. 1986. Optimal structures for steady-state adaptive optimizing control of large-scale industrial processes. *International Journal Systems Science*. **17**(10):1449 – 1474.
- Brdys M., Ellis J.E. dan Roberts P.D. 1987. Augmented integrated system optimization and parameter estimation technique: derivation, optimality and convergence. *IEE Proceeding*. **134**(3):201 – 209.
- Chen S. dan Robert P.D. 1986. Comparison of several On-line Integrated System Optimization and Parameter Estimation Methods for Steady State Systems. CEC/SC-PDR/15. London: The City University
- Findeisen W., Bailey F.N., Brdys M., Malinowski K., Tatjewski P. dan Wozniak A. 1980. *Control and Coordination in Hierarchical System*. Chichester: Wiley.
- Lowe M.J. dan Pierre D.A. 1975. *Mathematical Programming Via Augmented Lagrangians*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.

