

ANALISIS UJILARI SIMULASI KAWALAN GELUNG SUAPBALIK PELBAGAI JENIS KAEDAH PENALAN PID MENGGUNAKAN PERISIAN DELTAV DCS

Mustafa Kamal Surif
Jamaludin Bin Mohd Tolkah

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan menganalisis kesan ujilari secara simulasi dari pelbagai jenis kaedah penalaan PID (*Proportional Integral Derivative*) terhadap kawalan gelung suap balik menggunakan perisian DELTAV DCS. Kajian ini juga bertujuan membandingkan sambutan masa (*time response*) dan stabiliti (*stability*) sambutan terhadap tiga kaedah penalaan PID iaitu Ziegler-Nichols, Cohen-Coon dan IMC. Kajian ini dilaksanakan di Bengkel Instrumentasi dan Kawalan Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Pagoh, Johor menggunakan Instrumen *Process Control Trainer with Simulated Process and DELTAV DCS Model A3141*. Metodologi kajian adalah menggunakan dua pembolehubah bersandar iaitu *set point disturbance* dan *load disturbance* yang diaplikasikan terhadap proses yang tersimulasi. Hasil analisis mendapati kaedah penalaan PID Ziegler-Nichols mempunyai sambutan masa yang paling cepat dengan stabiliti yang mantap berbanding dengan kaedah penalaan PID Cohen-Coon dan IMC mencatatkan masa sambutan yang agak lambat dan mempunyai stabiliti yang kurang baik.

Kata kunci: Kaedah Penalaan PID Ziegler-Nichols, Kaedah Penalaan PID Cohen-Coon, Kaedah Penalaan PID IMC

PENGENALAN

Aplikasi industri dalam mengawal paras sesuatu pemprosesan kerap digunakan seperti dalam pemprosesan makanan, loji penjanaan kuasa nuklear, perindustrian pemprosesan bahan kimia dan industri farmasi. Pengawal PID selalunya digunakan kepada pengawal kadar aliran, pengawal suhu dan pergerakan. Ia boleh digunakan dalam bentuk digital dan juga analog [3]. Pengawal PID akan mengawal pam air seterusnya paras air dalam tangki dapat dikawal seperti yang dikehendaki. Kad DAQ digunakan untuk mengantaramuka dan menyambungkan kepada sistem dan peralatan. Perisian seperti Delta V DCS digunakan untuk mendapatkan dapatan simulasi pada pelaksanaan sistem.



Rajah 1 : Paparan utama bagi perisian Delta V DCS

Pengawal *Proportional-plus-Integral-plus-Derivative* (PID) telah diterima dan digunakan dalam banyak industri beberapa dekad kebelakangan ini. Ianya adalah kawalan ringkas yang dilakukan oleh operator loji dan mereka mendapati ianya mudah untuk dibuat talaan. Disamping strukturnya yang ringkas pengawal PID telah membuktikan ianya praktikal bagi jurutera untuk mengawal masalah. Kajian sebelum ini telah melaporkan tentang penalaan pengawal PID. Tindakbalas langkah Ziegler Nichols, kitaran Ziegler Nichols, Cohen Coon, *Internal model control* (IMC), adalah beberapa formula yang perlu disebutkan [3]. "PID" bermaksud *Proportional-Integral-Derivative*, merujuk kepada tiga terma operasi tentang sesuatu ralat pada isyarat bagi menghasikan isyarat kawalan. Banyak kelebihan sistem kawalan menggunakan kawalan PID disamping mempunyai banyak aplikasi dalam kawalan industri.

Dalam kajian ini beberapa teknik rekabentuk pengawal PID ditunjukkan dan pelaksanaan isu bagi algoritma akan dibincangkan. Dalam projek ini simulasi aksi berkadaran, kamiran dan kebezaan akan diterangkan secara terperinci dan variasi struktur asas PID akan diperkenalkan. Pengantaramuka grafik tentang pelaksanaan formula penalaan pengawal PID akan dibincangkan dalam projek ini.

Beberapa objektif perlu dicapai bagi menjayakan projek ini;
Bagi membangunkan pengawal PID untuk mengawal simulasi paras cecair tangki menggunakan pemodelan secara matematik.
Bagi menentusahkan keputusan yang didapati dari pemodelan secara matematik tersimulasi (menggunakan PID).

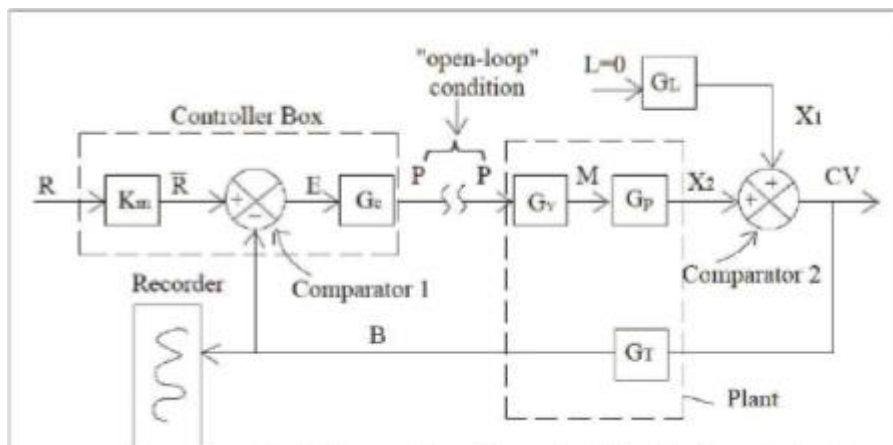
Kajian ini adalah berkisar kepada bagaimana mereka bentuk pengawal secara matematik dan membuat perbandingan secara simulasi menggunakan Delta V DCS. Selepas itu kedua dapatan dibuat perbandingan.
Perisian Delta V DCS digunakan untuk membuat simulasi dan mengesahkan pengawal model secara matematik.

Objektif dan skop projek adalah penerangan tentang idea kepada projek ini. Pada bab seterusnya, sorotan kajian kepada pengawal yang menggunakan sistem berbeza dan menggunakan sistem yang sama tetapi pengawal yang berbeza akan dibincangkan.

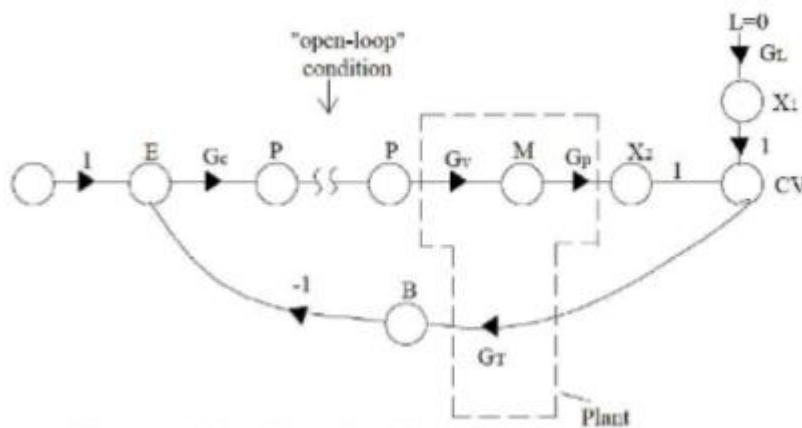
KAEDAH KAJIAN

Kaedah Penalaan Ziegler & Nichols (Z-N)

Kaedah Penalaan Ziegler & Nichols menggunakan kaedah lengkung proses tindakbalas yang telah dipelopori oleh Ziegler dan Nichols (1942). Ia berdasarkan satu ujian eksperimen yang dibuat dengan pengawal secara Mod Manual (M). Perubahan langkah kecil terhadap output pengawal, MV% tindak balas proses, PV dicatatkan. Lengkung tindak balas yang diperoleh juga dirujuk sebagai lengkung tindak balas proses. Parameter *Steady State Gain* (K_p), *Time Constant* (t_c), *Dead Time* (DT) dan *Kadar Respon* (RR) boleh didapati dari lengkung ini untuk menentukan tetapan PID berdasarkan penalaan lengkung proses Z-N.



Rajah 2 : Sistem Gelung Tertutup Talaan Ziegler-Nichols



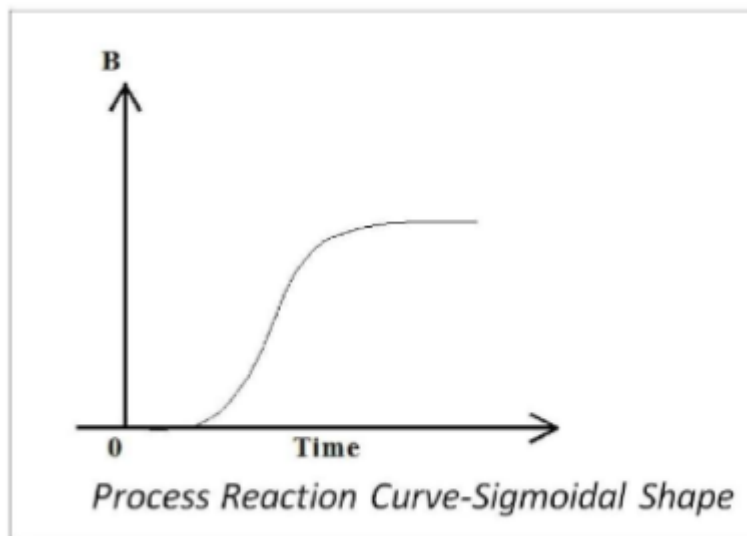
Rajah 3 : Sistem Talaan Ziegler-Nichols

Jadual 1 : Ziegler-Nichols

Jenis Pengawal	Gandaan , K	Reset, TI (saat)	Kadar, TD (saat)
P	1DT(RR)	-	-
PI	0.9DT(RR)	3.33 DT	
PID	1.2DT(RR)	2DT	0.5DT

Kaedah Penalaan Cohen-Coon

Penalaan Cohen-Coon (C-C) dipelopori oleh Cohen dan Coon pada tahun 1953. Ini adalah kajian susulan dari Ziegler dan Nichols. Lengkuk Reaksi Proses yang diperoleh daripada ujian langkah yang telah dilakukan oleh Kaedah Ziegler-Nichols dianalisis lagi oleh Cohen dan Coon. Hasil kajian beliau Lengkuk Reaksi Proses mempunyai bentuk sigmoid yang biasanya seperti yang ditunjukkan di bawah:



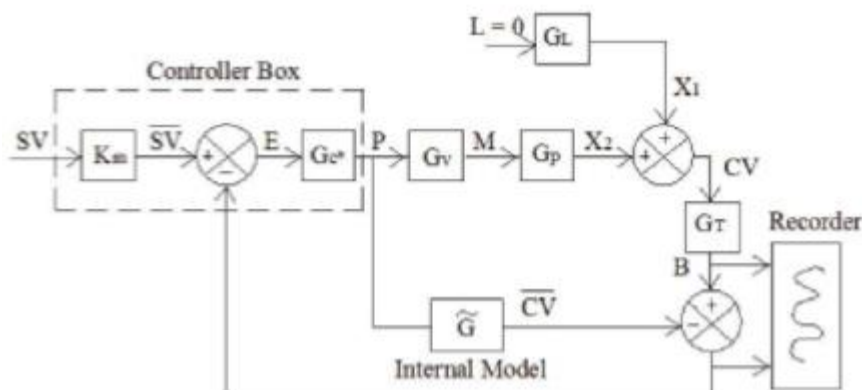
Rajah 4 : Lengkuk Bentuk Sigmoidal bagi Tindakbalas Proses

Jadual 2 : Cohen - Coon

Controller Type	Gain , Kc	Reset, TI (sec)	Rate, TD (sec)
P	$1K_{ptc}Td1+Td3tc$	-	-
PI	$1K_{ptc}Td0.9+Td12tc$	$Td\{30+3(Td_{tc})\}9+20(DT/tc)$	-
PID	$1K_{ptc}Td16tc+3Td12tc$	$Td32+6(Td_{tc})\}13+8(Td/tc)$	$14Td11+2(Td_{tc})$

Kaedah Penalaan Internal Model Control (IMC)

Kaedah penalaan Model Kawalan Dalam (IMC) telah dibangunkan oleh Morari pada tahun 1989. Seperti dalam pendekatan *Direct Synthesis*, kaedah reka bentuk IMC adalah berdasarkan kepada proses yang tepat dimana menetapkan pengawal dan parameternya dengan cara yang mudah. Ini membawa kepada reka bentuk sistem kawalan yang stabil dan mantap. Sistem kawalan yang mantap adalah salah satu cara yang dapat mengekalkan kawalan terhadap sistem yang memuakkan walaupun terdapat perubahan proses yang dinamik. Dalam menggunakan Kaedah IMC bagi reka bentuk sistem kawalan, penyelidik mesti mempunyai model yang tepat terhadap proses itu. Ketidakpastian terhadap model dan jenis gangguan seperti langkah dan tanjakan serta ketidakpastian terhadap objektif prestasi seperti *integral of square error* dan *overshoot* akan menyebabkan pengurangan ketepatan kepada struktur IMC. Oleh itu setelah memperoleh parameter proses (K_p , T_c , DT) daripada Kaedah Lengkuk Reaksi Proses Z-N, barulah tetapan PID berdasarkan Kaedah IMC boleh ditentukan.



Rajah 5 : Gelung Tertutup IMC

Jadual 3 : Model Kawalan Dalaman

Kasus	Model	Gandaan, Kc	Reset, TI(saat)	Kadar, TD(saat)	Jenis Pengawal
A	Instantaneous Process Model $G_c(s) = 1K_p \cdot 1s$	$1K_p \lambda$	-	-	P
B	First Order Process Model $G_c(s) = tcK_p \lambda [1 + 1tc.s]$	$tcK_p \lambda$	tc	-	PI
C	First order plus dead time process model $G_c(s) = (1 + DT2.s)(tc.s + 1)K_p \lambda + DT2s$	$1K_p 2tcDT + 12DT + 1$	$DT2 + tc$	-	PI apabila $tcDT > 0.8; \lambda > tc10$
		$1K_p 2tcDT + 12DT + 1$	$DT2 + tc$	$tc2tcDT + 1$	PID apabila $tcDT > 0.8; \lambda > tc10$

DAPATAN DAN PERBINCANGAN

Kajian ini berdasarkan kaedah rekabentuk ekperimental dengan proses simulasi menggunakan perisian Delta V DCS Model A3141.

Prosedur Kajian

Buatkan pengiraan secara terperinci bagi menetapkan *level set point* (SP) pada 2000mm pada *liquid level process* tersimulasi.

Pengiraan Gandaan Proses (K_p)

$$K_p = \frac{\Delta \text{Output}}{\Delta \text{Input}} \%$$

$$K_p = \frac{B2 - B1}{B\infty - B0} \frac{M2 - M1}{M\infty - M0}$$

$$K_p = \frac{300 - 0}{200 - 0} \frac{10 - 0}{100} = 1.5$$

Pengiraan Proses *Dead Time* (T_d)

$$\text{Dead Time } T_d = t_1 - t_0$$

Daripada ujian tindakbalas proses gelung buka, masa t_0 dan t_1 adalah seperti berikut:

$$T_d = 34 - 33 = 1 \text{ saat}$$

Pengiraan Process *Time Constant* (T_c)

$$\text{Time constant } T_c = t_2 - t_1$$

Daripada ujian proses tindakbalas gelung buka, *time constant* (T_c) adalah $t_2 - t_1$ masa capaian bagi nilai keadaan mantap adalah pada 63.2% justeru,

$$B_3 = (63.2\% \times (B_2 - B_1)) + B_1$$

$$B_3 = (63.2\% \times (1300 - 1000)) + 1000 = 1189$$

$$T_c = 43 - 34 = 9 \text{ saat}$$

Pengiraan Response Rate (RR)

$$RR = K_p / T_c$$

$$RR = 1.5 / 9 = 0.167 \text{ sec}^{-1}$$

Jadual 4 : Ziegler-Nichols

Proses Parameter	Persamaan	Nilai Jawapan
Gandaan Keadaan Mantap, K_p	$K_p = \Delta \text{ Output } \% \Delta \text{ Input } \%$ $K_p = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \frac{M_2 - M_1}{M_1} \frac{M_\infty - M_0}{M_\infty - M_0}$ $K_p = 300 - 0200 - 010 - 0 \times 100$	1.5
Kadar Tindakbalas, RR	$RR = K_p / T_c$ $RR = 1.5 / 9$	0.167 sec^{-1}
Dead Time (T_d)	Dead Time $T_d = t_1 - t_0$	1 saat
Time Constant (T_c)	Time constant $T_c = t_2 - t_1$ $B_3 = (63.2\% \times (B_2 - B_1)) + B_1$ $B_3 = (63.2\% \times (1300 - 1000)) + 1000 = 1189$ $T_c = 43 - 34$	9 saat

Proses parameter digunakan untuk mengira nilai talaan parameter PID (Gandaan, Reset, atau Berkadaran, Kamiran dan Kebezaan). Dengan menggantikan nilai gandaan proses, K_p , *Dead Time* T_d , *Response Rate* RR dan *Time Constant* T_c kepada jadual talaan **Cohen-Coon** akan dapat ditentukan nilai bagi setiap pengawal dan jenis pengawal.

Jadual 5 : Cohen - Coon

Controller Type	Gain, K_c	Reset, TI (sec)	Rate, TD (sec)
P	$1 K_{ptc} T_d / (1 + T_d / 3 T_c)$	-	-
PI	$1 K_{ptc} T_d / (0.9 + T_d / 12 T_c)$	$T_d [30 + 3(T_d / T_c)] / 9 + 20(DT / T_c)$	-
PID	$1 K_{ptc} T_d / (16 T_c + 3 T_d / 12 T_c)$	$T_d [32 + 6(T_d / T_c)] / 13 + 8(T_d / T_c)$	$14 T_d / 11 + 2(T_d / T_c)$

Jadual 6 : Talaan Cohen -Coon

Kaedah Talaan Cohen-Coon			
Jenis Pengawal	K_c	T_i	T_d
Kawalan P	3.3	-	-
Kawalan PI	2.7	4.6	-
Kawalan PID	4.3	4.5	2.5

Proses parameter digunakan untuk mengira nilai talaan parameter PID (Gandaan, Reset, atau Berkadaran, Kamiran dan Kebezaan). Dengan menggantikan nilai gandaan proses, K_p , *Dead Time* T_d , *Response Rate* RR dan *Time Constant* T_c kepada jadual talaan **Ziegler & Nichols** akan dapat ditentukan nilai bagi setiap pengawal dan jenis pengawal.

Jadual 7 : Nilai Kiraan Kaedah Talaan Ziegler-Nichols

Jenis Pengawal	Gandaan, K	Reset, TI (saat)	Kadar, TD (saat)
P	$1 / DT(RR)$	-	-
PI	$0.9 / DT(RR)$	$3.33 DT$	
PID	$1.2 / DT(RR)$	$2DT$	$0.5DT$

Jadual 8 : Nilai Dapatan Ziegler-Nichols

Kaedah Talaan Ziegler - Nichols			
Jenis Pengawal	Kc	Ti	Td
Kawalan P	3.0	-	-
Kawalan PI	2.7	6.6	-
Kawalan PID	3.6	4.0	1.0

Proses parameter digunakan untuk mengira nilai talaan parameter PID (Gandaan, Reset, atau Berkadaran, Kamiran dan Kebezaan). Dengan menggantikan nilai gandaan proses, K_p , *Dead Time* T_d , *Response Rate* RR dan *Time Constant* T_c kepada jadual talaan IMC akan dapat ditentukan nilai bagi setiap pengawal dan jenis pengawal.

Jadual 9 : Kiraan IMC

Kasus	Model	Gandaan, Kc	Reset, TI(saat)	Kadar, TD(saat)	Jenis Pengawal
A	Instantaneous Process Model $G_c(s) = 1K_p \cdot 1s$	$1K_p \lambda$	-	-	P
B	First Order Process Model $G_c(s) = tcK_p \lambda [1 + 1tc.s]$	$tcK_p \lambda$	tc	-	PI
C	First order plus dead time process model $G_c(s) = (1 + DT2.s)(tc.s + 1)K_p \lambda + DT2s$	$1K_p 2tcDT + 12DT + 1$	$DT2 + tc$	-	PI apabila $tcDT > 0.8; \lambda > tc10$
		$1K_p 2tcDT + 12DT + 1$	$DT2 + tc$	$tc2tcDT + 1$	PID apabila $tcDT > 0.8; \lambda > tc10$

Jadual 10 : Nilai Dapatan Talaan IMC

Kaedah Talaan IMC			
Jenis Pengawal	Kc	Ti	Td
Kawalan P	-	-	-
Kawalan PI	3.3	10	-
Kawalan PID	3.3	10	1.0

Ujilari suapbalik gelung tertutup menggunakan berbagai jenis kaedah talaan PID

Kendalikan *Load Disturbance* bagi *Liquid Level Process* menggunakan Kaedah Cohen-Coon. Setpoint = 1000mm.

- Apabila *level response* telah mantap pada SP = 1000mm, suisikan LIC811 ke mod manual dan naikkan secara cepat MV (out) pada 5% selama 5 saat.
- Kemudian suisikan semula LIC811 pada mode AUTO.
- Perhatikan *level response* pada *process history view*.
- Apabila *level response* telah mantap pada SP = 1000mm, ulang semula langkah dengan menaikkan secara cepat MV (out) pada 10% selama 5 saat.
- Perhatikan *level response* lagi sekali.

Teruskan pengujian simulasi diatas untuk *Setpoint Disturbance*

- Apabila *level response* telah mantap pada SP = 1000mm, suisikan LIC811 ke mod manual dan naikkan secara cepat MV (out) pada 10% selama 5 saat.
- Kemudian suisikan semula LIC811 pada mode AUTO.
- Perhatikan *level response* pada *process history view*.
- Apabila *level response* telah mantap pada SP = 1000mm, mula turunkan SP sekitar 10% . Tunggu sehingga *liquid level response* mantap kemudian naikkan *actual setpoint* ke 1000mm.
- Perhatikan *level response* lagi sekali.

Jadual 11 : Nilai Dapatan Talaan Cohen-Coon

Kaedah Talaan Cohen-Coon			
Jenis Pengawal	Kc	Ti	Td
Kawalan P	3.3	-	-
Kawalan PI	2.7	4.6	-
Kawalan PID	4.3	4.5	2.5

Proses tindakbalas selepas *disturbance* bagi pengawal PID menggunakan kaedah Cohen-Coon menghasilkan *response* yang tidak stabil serta berayun.

Jadual 12 : Nilai Dapatan Talaan Ziegler-Nichols

Kaedah Talaan Ziegler - Nichols			
Jenis Pengawal	Kc	Ti	Td
Kawalan P	3.0	-	-
Kawalan PI	2.7	6.6	-
Kawalan PID	3.6	4.0	1.0

Proses tindakbalas selepas *disturbance* bagi pengawal PID menggunakan kaedah Ziegler-Nichols menghasilkan *response* yang *slow recovery* tetapi tidak ada *overshoot*.

Jadual 13 : Nilai Dapatan Talaan IMC

Kaedah Talaan IMC			
Jenis Pengawal	Kc	Ti	Td
Kawalan P	-	-	-
Kawalan PI	3.3	10	-
Kawalan PID	3.3	10	1.0

Proses tindakbalas selepas *disturbance* bagi pengawal PID menggunakan kaedah IMC menghasilkan *response* yang tidak stabil dan berayun.

RUJUKAN

- Astrom, K. J. and Hagglund, T (1988) "Automatic tuning of PID controllers", ISA , Research Triangle Park, NC, USA.
- Astrom, K.J. and Hagglund, T (1995) "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning", 2nd Edition, ISA.
- B.L Chua, N.A. Aziz and T.S.Y. Choon (2010) Design of PI controller with input constraint: Application on blending process. Journal of Food Process Engineering 33, 284–297.
- Behnam Baloochy (2013) Pid Controller Tuning: Improvement of classic approaches in chemical processes, www.vurup.sk/petroleum-coal Petroleum & Coal 55 (3) 148-155.
- Chien, I-Lung and Fruehauf, P. (1990) "Consider IMC Tuning to Improve Controller Performance", Chemical Engineering Progress.
- Fahri Vatansever and Deniz Şen (2013) Design of PID Controller Simulator based on Genetic Algorithm Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, Vol 18, Iss 2, pp 7-18.
- G.H. Cohen and G.A. Coon (1953) Theoretical Consideration of Retarded Control, Trans. ASME, 75, pp. 827-834.
- Jutarut Chaorai-ngern, Arjin Numsomran, Tawee-pol Suesut, Thanit Trisuwannawat and Vittaya Tipsuwanporn." PID Controller Design using Characteristic Ratio Assignment Method for Coupled-Tank Process", Faculty of Engineering, King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok10520, Thailand
- Mohd Fua'ad Rahmat and Mariam MD Ghazaly., "Performance Comparison between PID and Fuzzy Logic Controller in Position Control System of DC Servomotor", Jurnal Teknologi, 45 (D) Dis. 2006: 1-17

- Muhammad Rehan, Fatima Tahir, Naeem Iqbal and Ghulam (2008) "Modelling, Simulation and Decentralized Control of a Nonlinear Coupled Tank System", Department of Electrical Engineering, PIEAS, Second International Conference on Electrical Engineering 25-26 University of Engineering and Technology, Lahore (Pakistan)
- Ramon Vilanova and Carles Pedret (2010) Optimality Characteristics of PI/PID Controllers: A Combined Min-Max/ISE Interpretation Chem. Eng. Comm., 197:1240–1260, Taylor & Francis Group, LLC ISSN: 0098-6445
- Sahaj Saxena and Yogesh V. Hote (2012) Advances in Internal Model Control Technique: A Review and Future Prospects IETE Technical Review Vol 29 - 6 .
- Ziegler, J. G. and Nichols, N. B (1993) "Optimum Settings for Automatic Controllers", Transactions of the ASME, Vol. 115, pp. 220 - 222.

Mustafa Kamal Surif
Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Pagoh, Johor
E-mail: musahar2020@gmail.com

Jamaludin Bin Mohd Tolkah
Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail,
84600 Pagoh, Johor, Malaysia
Email: jamaludinpis@gmail.com