

PENERAPAN PID CONTROLLER PADA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA PROSES PEMBUATAN KACA LEMBARAN DI PT ASAHIMAS FLAT GLASS, TBK SIDOARJO

¹Suyanto, dan ² Miftahuddin

^{1,2} Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111

e-mail : ¹ suyanto@ep.its.ac.id,

Abstrak. *Plant Lehr merupakan suatu tempat pengendalian temperatur untuk mendinginkan benda yang terbuat dari kaca dimana proses pendinginannya harus secara bertahap agar diperoleh kaca dengan kualitas baik. Salah satu parameter yang paling penting dalam proses ini yaitu pengendalian temperatur lehr agar kaca yang dihasilkan baik dan mudah untuk dipotong pada proses cutting. Kontroller yang dipakai pada unit plant ini adalah menggunakan PID Controller, oleh karena itulah diperlukan analisa mengenai parameter PID yang digunakan. Dari real plant tidak didapatkan besarnya nilai K_p , T_i , T_d . Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dicari parameter-parameter tersebut dan analisa dari kinerja plant tersebut. Dari hasil analisa diperoleh nilai $K_p = 32.45$, $T_i = 24.4$, $T_d = 6.1$ dan memiliki respon yang cukup baik dengan rise time yang cepat, tidak adanya error.*

Kata kunci: *Plant Lehr, Temperature, PID Controller*

1. Pendahuluan

Salah satu masalah yang tidak diinginkan dalam pembuatan kaca lembaran adalah timbulnya cacat yang berupa gelembung, kelengkuan kaca atau keretakan pada saat pembuatan kaca, terutama pada proses annealing di plant lehr di A-1. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut perlu dijaga temperaturnya agar tetap. Dan untuk menjawab persoalan tersebut perlu adanya pengendalian temperatur dalam sistem tersebut. Satu parameter yang harus diperhatikan sehubungan dengan sistem pengendalian temperatur tersebut adalah kestabilan. Kestabilan di sini adalah sejauh mana temperatur yang yang dihasilkan untuk memanaskan kaca memiliki pergerakan nilai yang stabil sesuai dengan set point yang diharapkan. Ketidakstabilan merupakan suatu keadaan yang tidak menguntungkan bagi sistem pengendalian lup tertutup. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimanakah penerapan PID Controller pada sistem

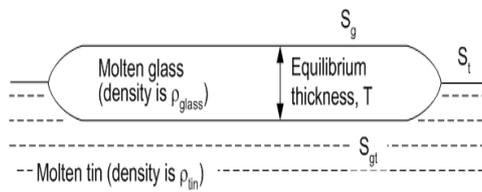
pengendalian temperatur pada proses annealing (lehr) di PT Asahimas Flat Glass, Tbk dan bagaimanakah kinerja pengendalian temperatur dengan menggunakan PID Controller pada proses annealing (lehr) di PT Asahimas Flass Glass, Tbk? Adapun tujuan khusus dilakukannya penelitian ini, meliputi memahami penerapan PID Controller pada sistem pengendalian temperatur pada proses annealing (lehr) di PT Asahimas Flat Glass, Tbk. Dan dapat mengetahui kinerja pengendalian temperatur dengan menggunakan PID Controller pada proses annealing (lehr) di PT Asahimas Flass Glass, Tbk.

2. Pembuatan Kaca

2.1 Proses Pembuatan Kaca

Proses pembuatan kaca yang dapat menghasilkan kaca berkualitas tinggi dengan permukaan yang rata dan tidak ada

distorsi atau gelombang pada kaca baru ditemukan oleh Pilkington pada tahun 1959 yang dinamakan *float process* yang dipakai oleh PT. Asahimas Flat Glass, Tbk untuk produksi sampai saat ini. Prinsip kerja *float process* (lihat Gambar 1) adalah bahan baku yang telah ditimbang dan dicampur dilelehkan pada tungku, kemudian *molten glass* (leburan kaca pada suhu tinggi) dilewatkan pada *metal bath* (kolam logam) yang berisi (*molten tin*) cairan timah panas dengan densitas yang lebih besar dari densitas *molten glass*, sehingga *molten glass* akan mengambang pada permukaan cairan tersebut.



Gambar 1. Teori teknologi float process

(www.tangram.co.uk/TL-Glazing/Float%20Glass.html)

Jika *molten glass* dialirkan di atas *bath* yang berisi *molten tin* bersih, kaca akan menyebar keluar pada arah yang sama sebagaimana minyak akan menyebar keluar jika dialirkan di atas *bath* (kolam) yang berisi air. Pada situasi ini, gravitasi dan tegangan permukaan akan menghasilkan kaca pada permukaan atas dan bawah menjadi mendekati *flat* (datar) dan parallel.

Molten glass tidak menyebar keluar terbatas di atas permukaan *molten tin*. Meskipun terpengaruh gravitasi, kaca ditahan oleh efek tegangan permukaan diantara *glass* dan timah. Hasil keseimbangan diantara gravitasi dan tegangan permukaan memberikan definisi ketebalan keseimbangan dari *molten glass* (T) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$T^2 = (S_g + S_{gt} + S_t) \times \frac{2\rho_t}{g\rho_g(\rho_t - \rho_g)} \dots (1)$$

Dimana S_g , S_{gt} , and S_t adalah nilai tegangan permukaan pada ketiga interface yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Proses pembuatan kaca yang dipakai oleh PT. Asahimas Flat Glass, Tbk adalah metode *float glass*. Seperti yang dijelaskan di atas bahwa cairan kaca yang panas dialirkan di atas permukaan cairan timah. Cairan kaca akan mengapung dan menutupi permukaan cairan timah. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan densitas dari kedua cairan tersebut. Metode *float glass* ini merupakan metode terbaru dan terbaik dari metode sebelumnya sehingga dengan alasan inilah PT. Asahimas Flat Glass, Tbk memakai metode ini. Adapun alur proses pembuatan kaca yang dipakai oleh PT. Asahimas Flat Glass, Tbk, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur proses pembuatan kaca yang dipakai oleh PT. Asahimas Flat Glass, Tbk.

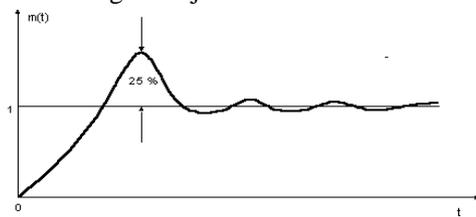
2.2 Penalaan Paramater (*Tuning*) Kontroler PID

Penalaan parameter controller PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku plant tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran, penalaan kontroler PID telah dapat dilakukan. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai

spesifikasi perancangan. Ogata menyatakan hal itu sebagai alat control (*controller tuning*). Dua metode pendekatan eksperimen adalah *Ziegler-Nichols* dan metode *Quarter decay*.

Metode Ziegler-Nichols

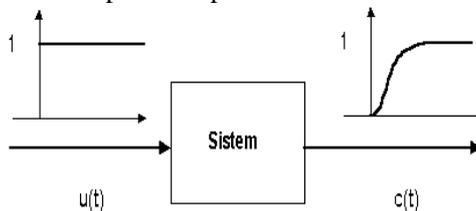
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 3 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.



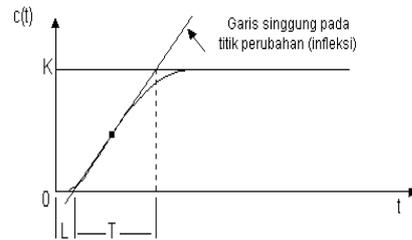
Gambar 3. Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum (Ogata, 2002)

Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. Plant sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan. Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 4 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plant integrator maupun plant yang memiliki pole kompleks.



Gambar 4. Respon tangga satuan system (Ogata, 2002)



Gambar 5. Kurva Respons berbentuk S (Ogata, 2002)

Kurva berbentuk-s mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) L dan waktu tunda T . Dari Gambar 5 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah menggambaran perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L .

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i , dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 1 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 1. Penalaan paramater PID dengan metode kurva reaksi

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	~	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5L$

3. Penerapan Kontroller PID Dalam Sistem Pengendalian Temperatur Pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di DI PT. ASAHIMAS FLAT GLASS, TBK SIDOARJO

3.1 Proses Annealing (Lehr)

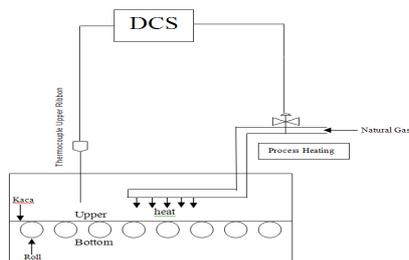
Lehr merupakan tempat pengaturan temperatur untuk mendinginkan benda yang terbuat dari kaca. Istilah Lehr berasal dari kata kerja (bahasa German) yang berarti

belajar dan disamakan dengan kata *lere* (bahasa English) yang juga berarti belajar atau memperoleh pengetahuan dari (sesuatu).

Pendinginan yang cepat dari kaca yang telah terbentuk di *metal bath* dapat menghasilkan distribusi temperature yang tidak rata pada badan kaca yang dapat menghasilkan tekanan mekanik yang cukup untuk menyebabkan *crack* (retak) sebelum benda telah mencapai temperatur lingkungan. Untuk mencegah hal ini, maka kaca didinginkan dengan pendinginan secara berangsur-angsur di lehr dari temperature di bawah titik pembekuan kaca.

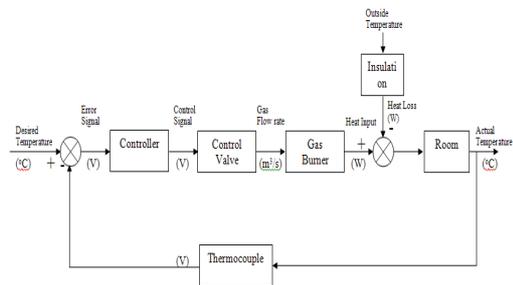
Setelah lembaran kaca meninggalkan *zone float* di *metal bath*, kaca harus didinginkan di annealing lehr (tempat pendinginan). Profil temperature yang melewati kaca sangat penting. Jika kaca didinginkan dengan baik, maka akan diperoleh kaca dengan kualitas baik yang dinamakan "*cutability*" sehingga menjadi mudah untuk dipotong ke bentuk akhir dan akan terdapat sedikit kerusakan dari kaca.

Pada lehr terdapat 2 macam pengendalian temperatur yaitu, proses heating/cooling, proses heating dan cooling. Namun pada penelitian ini, hanya pada proses pengendalian heating saja yaitu, pada zone 1 upper R (Right) Lehr A-1 (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Prinsip kerja lehr untuk proses heating

Jika digambarkan ke dalam diagram blok dari prinsip kerja lehr untuk proses heating dapat ditunjukkan pada Gambar 7.

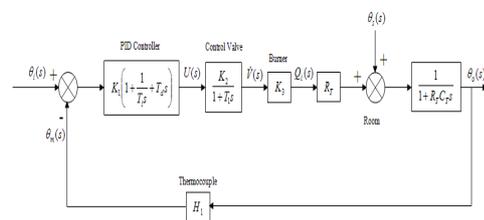


Gambar 7. Diagram blok lehr untuk proses heating

Di mana variabel sistem blok tersebut adalah $\theta_d(t)$ = Desired temperature ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_m(t)$ = Measured temperature ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_o(t)$ = Actual Temperature ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_s(t)$ = Outside Temperature ($^{\circ}\text{C}$), $u(t)$ = Control signal (V), $\dot{V}(t)$ = Gas Flow rate (m^3/s), $Q_i(t)$ = Heat flow into room (W) dan $Q_o(t)$ = Heat flow through walls (W)

3.2 Pemodelan plant

Untuk mengetahui dan menentukan parameter dan kinerja dari kontrol PID pada plant lehr perlu dilakukan pemodelan sistem dari plant proses. Dari pemodelan sistem tersebut akan dibuat simulasi dengan menggunakan software MATLAB 7. Terlebih dahulu akan disimulasikan plant jika tanpa ada aksi kendali dan jika diberikan aksi kendali dengan menggunakan PID. Diagram blok secara lengkap dari komponen-komponen di atas, ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram blok sistem pengendalian temperature

Diagram blok pada Gambar 8 dapat diturunkan fungsi alih sistem pengendalian temperatur dengan asumsi temperatur

lingkungan $\theta_s(t) = 0$ (tidak berpengaruh/insulation baik) sebagai berikut:

$$\frac{\theta_0(s)}{\theta_d(s)} = \frac{K_1 K_2 K_3 R_T (T_d s^2 + T_i s + 1)}{[T_s s (1 + T_i s) (1 + R_T C_T s) + H_1 (K_1 K_2 K_3 R_T (T_d s^2 + T_i s + 1))]} \dots\dots\dots(2)$$

4. Analisa dan Pembahasan

Untuk menentukan parameter K_1, T_i, T_d digunakan metode Zeigler-Nichols, namun harus diketahui parameter sistem tanpa kontroller. Parameter sistem yang harus dicari adalah $K_2, K_3, T_1, R_T, C_T, H_1$. Nilai parameter K_2 berasal dari element gas control valve. Gain control valve didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya perubahan flow terhadap besarnya bukaan control valve. Adapun persamaan gain control valve memiliki karakteristik linier dan dari penelitian di lapangan diperoleh data sebagai berikut laju aliran maksimum : 1.2 m³/h (0.000333333333 m³/s) dan perubahan tekanan : 10 kg/cm² (100000 kg/m²) sehingga K_{CV} diperoleh dengan persamaan 3 adalah

$$K_{CV} = \frac{\text{laju aliran maksimum}}{\text{perubahan tekanan masukan}} = \frac{333333 \text{ m}^3}{100000 \text{ kg}} \dots\dots\dots(3)$$

Gain transduser (I/P) diperoleh dengan persamaan 4 adalah

$$G_T = \frac{\text{Span_output (kg/m}^2\text{)}}{\text{Span_input (mA)}} = \frac{6250000 \text{ kg}}{100 \text{ mA}} \dots\dots\dots(4)$$

Maka gain total dari control valve diperoleh dengan persamaan 5 yaitu:

$$K_2 = K_V = G_T \cdot K_{CV} = 0.0208 \frac{\text{m}^3 \text{ kg}}{\text{s A}} \dots\dots\dots(5)$$

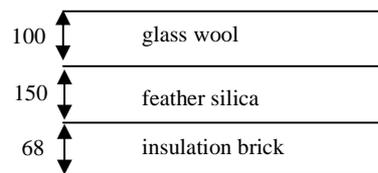
Konstanta waktu dari control valve diperoleh berdasarkan control valve handbook dan control valve yang

digunakan merupakan jenis control valve tipe A dengan nilai $T_1 = 12.24$ s

Untuk nilai parameter K_3 berasal dari element gas burner. K_3 merupakan konstanta gas burner dan berdasarkan data lapangan diperoleh $K_3 = 40000$ kcal/hr (11.1111 kcal/s) (46488.8 W). Untuk nilai parameter H_1 berasal dari element sensor thermocouple. Thermocouple yang digunakan adalah Tipe K (chromel-aluminium) yang memiliki range kerja 1200^oC. Sinyal yang dihasilkan oleh termokopel masih terlalu kecil maka perlu distandartisasi agar dapat diolah pada proses selanjutnya. Oleh sebab itu dibutuhkan transmitter yang akan mengubah sinyal keluaran termokopel menjadi sinyal arus standart yang besarnya 4-20 mA. Dari transmitter dihasilkan gain transmitter yang besarnya diperoleh dengan persamaan 6 adalah

$$H_1 = G_{TR} = \frac{\text{span_keluaran}}{\text{span_masukan}} = 0.002285 \text{ A/C} \dots\dots\dots(6)$$

Untuk nilai parameter C_T berasal dari element room. C_T merupakan kapasitansi termal udara dalam ruangan yang bernilai 80 J/K. Untuk nilai parameter R_T diperoleh dari dinamika termal ruangan pada lehr. R_T merupakan resistensi termal dinding seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Dimana dinding terbuat dari glass wool, feather silica, insulation brick.



Gambar 9. Insulation pada dinding Lehr

R_T didefinisikan sebagai hasil bagi antara ketebalan (d) dengan konduktivitas termal (k). Maka

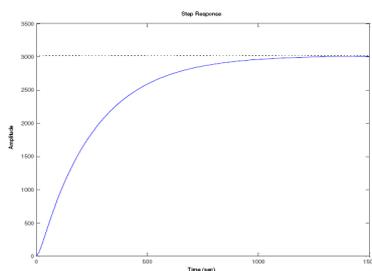
$$R_T = R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots\dots(7)$$

Di mana R_1 = resistensi termal glass wool dengan konduktifitas termal $k_1 = 0.10$ kcal/mh°C (0.11619 W/m°C), R_2 = resistensi termal feather silica dengan konduktifitas termal $k_2 = 0.07$ kcal/mh°C (0.08135 W/m°C), R_3 = resistensi termal insulation brick dengan konduktifitas termal $k_3 = 0.14$ kcal/mh°C (0.16270 W/m°C).

$$R_T = R_{Total} = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} = 3.1224 \left(\frac{m}{W/m^2C} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Kemudian parameter-parameter di atas dimasukkan pada persamaan 12. Kurva reaksi proses tanpa controller pada diagram blok sistem pengaturan temperatur dan mengabaikan temperatur luar (tidak ada perubahan signifikan = dianggap konstan) diperoleh fungsi alih dalam persamaan 9 sebagai berikut :

$$\frac{\theta_0(s)}{U(s)} = \frac{K_2 K_3 R_T}{(1+T_I s)(1+R_T C_T s)} = \frac{301257}{30575s^2 + 26232s + 1} \dots\dots\dots(9)$$



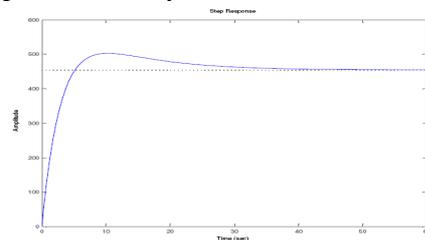
Gambar 10. Kurva reaksi proses dari sistem pengendalian temperatur

Berdasarkan Gambar 10 diperoleh $T = 330$ s & $L = 12.2$ s, dan mengacu dari Tabel 1. diperoleh nilai parameter-parameter $K_1 = 1,2$ T/L = 32.45; $T_i = 2L = 24.4$ dan $T_d = 0,5L = 6.1$.

Akhirnya fungsi transfer loop tertutup Persamaan 9 untuk sistem kontrol temperatur adalah

$$\frac{\theta_0(s)}{\theta_d(s)} = \frac{K_1 K_2 K_3 R_T (T_I T_d s^2 + T_I s + 1)}{[T_I s(1+T_I s)(1+R_T C_T s)] + H_1 [K_1 K_2 K_3 R_T (T_I T_d s^2 + T_I s + 1)]} = \frac{1458258685s^2 + 2390588009s + 97974918}{74592.32s^3 + 38474.49s^2 + 5283.69s + 215.54} \dots\dots\dots(10)$$

Di mana $\theta_o(t)$ = Actual Temperature (°C) dan $\theta_d(t)$ = Desired temperature (°C). Setelah dimasukkan ke dalam simulasi Matlab diperoleh grafik pada Gambar 11. Terlihat pada Gambar 11 diperoleh respon dengan mencapai keadaan steady pada waktu 40 s, rise time pada waktu 5 s, dan tidak ada error, namun terdapat overshoot yang tidak terlalu besar. Maka sistem pada Gambar 11 bisa dikatakan memiliki respon yang cukup baik dengan rise time yang cepat, tidak adanya error.



Gambar 11. Respon step loop tertutup dari sistem pengendalian temperatur dengan tuning PID controller menggunakan proses reaksi Metode Zeigler-Nichols.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penerapan metode PID pada sistem pengendalian temperatur pada proses pembuatan kaca (proses heating lehr) dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Dengan menerapkan metode PID dapat diperoleh nilai-nilai parameter PID yaitu $K_1 = 32.45$, $T_i = 24.4$, $T_d = 6.1$.
2. Respon yang dihasilkan daripada nilai parameter PID memberikan respon yang cukup baik dengan rise time yang cepat, tidak adanya error.

Untuk mencapai keadaan yang stabil dalam proses maka tuning PID seharusnya dilakukan untuk mendapatkan

parameter PID yang sesuai. Dan bukan hanya sekedar menera (*trial and error*) atau memprediksi saja berdasarkan feeling. Beberapa metode tuning PID yang bisa digunakan adalah metode *Ziegler-Nichols*, *Fuzzy Gain Scheduling* ataupun menggunakan metode JST (jaringan syaraf tiruan) yang bisa memodelkan plant secara riil.

6. Ucapan terima kasih

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung serta berbagai motivasi dan bantuan diterima peneliti selama penelitian ini selesai dilaksanakan, terutama kepada :

1. Bapak Sudirgo Yacobus, selaku staff bagian umum PT. Asahimas Flat Glass yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk bisa melaksanakan riset di PT. Asahimas Flat Glass.
2. Bapak Hendro, selaku Electrical Department Manager PT. Asahimas Flat Glass, Bapak Firdaus selaku pembimbing di lokasi lapangan.

3. Seluruh staf dan keluarga besar Maintenance PT. Asahimas Flat Glass, Tbk yang telah banyak membagi pengalaman, ilmu dan bimbingan selama penelitian.

7. Daftar Pustaka

1. Gunterus, Frans. *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. PT.Elex Media Komputindo. Jakarta : 1994.
2. Ogata, K. *System Dynamics : Second Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey : 1992.
3. Ogata, K. *Modern Control Engineering: Fourth Edition*. Prentice Hall, Inc. New Jersey : 2002.
4. Bourhis, Eric Le. *Glass Mechanics and Technology*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim : 2007.
5. Burns, Ronald S. *Advanced Control Engineering*. Butterworth-Heinemann, Oxford : 2001.
6. www.tangram.co.uk/II-Glazing-Float%20Glass.html
7. www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s15.pdf