

DIPA

LAPORAN PENELITIAN

Analisa Unjuk Kerja Sistem Kendali Temperatur PT326 *Process Trainer* dengan Penerapan Algoritma Kontroler PID Digital Berbasis PC



TERIMA TGL. :	21 Februari 2012
UMBER HARGA :	Hd
OLEKSI :	K.1
NO. INVENTARIS :	47/Hd/2012-a.111
KLASIFIKASI :	621 Ris a. 1

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

Oleh

Risfendra, S.Pd, M.T

Penelitian ini dibiayai oleh:
Dana DIPA Universitas Negeri Padang Tahun Anggaran 2011
Surat Perjanjian Penelitian Nomor
307/UN35.2/PG/2011 tanggal 19 Juli 2011

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2011

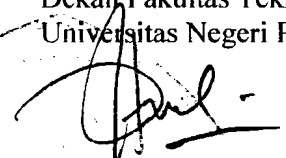
HALAMAN PENGESAHAN

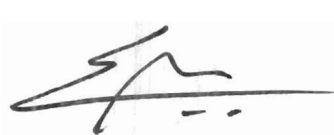
1. Judul Penelitian : Analisa Unjuk Kerja Sistem Kendali Temperatur PT326 *Process Trainer* dengan Penerapan Algoritma Kontroler PID Digital Berbasis PC
2. Bidang Ilmu : Rekayasa (Teknik Sistem Pengaturan)
3. Jumlah Peneliti : 1 orang
4. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Risfendra, S.Pd, M.T
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. Golongan Pangkat dan NIP : IIIb / 19790213 200501 1 003
 - d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - e. Fakultas/Jurusan : Teknik / Pendidikan Teknik Elektro
 - f. Mata Kuliah yang diasuh : Sistem Pengaturan
5. Lokasi Penelitian : Laboratorium Kontrol dan Instrumentasi Jurusan Teknik Elektro FT-UNP
6. Biaya Penelitian : Rp 7.500.000,- (tujuh juta lima ratus ribu rupiah)
7. Sumber Dana : DIPA UNP Tahun Anggaran 2011

Padang, Januari 2012


Peneliti,

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang


Drs. Syahril, MSCE, P.hd
NIP. 19640506 198903 1 003
Surat Kuasa No. 0195/UN35.1.2/KP/2012
Tanggal: 30 Januari 2012

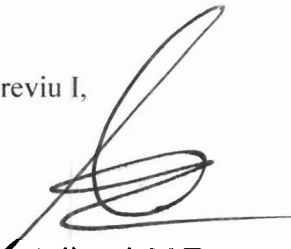

Risfendra, S.Pd, M.T
NIP. 19791302 200501 1 003


Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang


Dwiyanti Benti, M.Pd
NIP. 19610722 198602 1 002

LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Disain Kontroler PI-Fuzzy untuk Pengaturan kecepatan motor DC.
b. Bidang Ilmu Penelitian : Teknologi
2. Personalia
- a. Ketua Peneliti
Nama Lengkap dan Gelar : Risfendra, S.Pd, M.T
Pangkat/Golongan/NIP : Penata Muda Tk.I/ IIIb/197902132005011003
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
- b. Anggota Peneliti
Nama Lengkap dan Gelar : -
Pangkat/Golongan/NIP : - / - / -
Fakultas/Jurusan : - / -
- b. Anggota Peneliti
Nama Lengkap dan Gelar : -
Pangkat/Golongan/NIP : - / - / -
Fakultas/Jurusan : - / -
3. Laporan Penelitian : Telah direvisi sesuai saran pereviu

Pereviu I,

Drs. Aslimeri, M.T.
NIP. 19560501 198301 1 001

Padang, November 2011
Pereviu II,

Dr. Ridwan, M.Sc.Ed
NIP. 19520116 197903 1 002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang

Ridwan Bentri, M.Pd
NIP. 19610722 198602 1 002

RINGKASAN DAN SUMMARY

Aktifitas produksi di industri hampir tidak dapat terlepas dari perlakuan panas dalam setiap tahapannya, oleh sebab itu temperatur merupakan salah satu parameter utama di industri yang dikendalikan (*plant*). Karakteristik dinamika pengendalian temperatur ini dapat diperoleh menggunakan PT326 *process trainer*. Temperatur merupakan parameter yang sangat sensitif terhadap gangguan, dengan demikian perlu ada aksi kontrol sebagai upaya untuk menjaga keadaannya berada pada nilai yang diinginkan (*setpoint*).

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan parameter kontroler yang telah diperoleh dan disimulasikan pada penelitian sebelumnya (Irma, 2010). Kontroler yang digunakan adalah tipe PID digital berbasis PC, dengan dua kategori parameter kontroler. Kategori pertama, parameter kontroler diperoleh berdasarkan model hasil identifikasi dinamis dan kategori berikutnya parameter kontroler diperoleh berdasarkan model yang diperoleh dari identifikasi statis. Parameter kontroler diperoleh dengan metoda domain frekuensi. Algoritma kontroler tersebut diterapkan pada *real plant* PT326 *process trainer* dengan *software* aplikasi yang dibuat dengan bahasa pemrograman Delphi 6.0.

Hasil implementasi memperlihatkan unjuk kerja sistem dengan *settling time* dicapai pada $t = 20$ detik, *rise time* = 5,6 detik dan persentase *overshoot* sebesar 5.1% serta *error steady state* 1,37 °C. Unjuk kerja tersebut sudah mendekati hasil simulasi, hanya saja persentase *overshoot* (M_p) lebih besar dan masih terdapat *error steady state* (E_{ss}), namun besaran tersebut masih dalam rentang nilai toleransi yang diperbolehkan untuk pengendalian sistem proses. Penelitian ini juga memperlihatkan ketidak-mampuan kontroler PID dalam mereduksi gangguan yang diberikan, yakni merubah bukaan katup udara masuk dari 40° menjadi 80°.

Kata kunci: PT326 *process trainer*, PID digital, implementasi, *interface*.

PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian tentang *Analisa Unjuk Kerja Sistem Kendali Temperatur PT326 Proses Triner dengan Penerapan Algoritma Kontroler PID Digital Berbasis PC*, sesuai dengan surat perjanjian Penelitian DIPA Anggaran 2011 Nomor: 307/UN35.2/PG/2011 Tanggal 19 Juli 2011.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang akan dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkat Universitas. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, dan tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Desember 2011
Rektor Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,

Dr. Alwen Bentri, M.Pd.
NID 19610722 198602 1 002

PRAKATA

Segala pujian dan segenap rasa syukur hanya pantas diutarakan kepada Allah SWT, tuhan yang memiliki semua ilmu. Karena izin dan karunia-Nya jualah penelitian yang berharga ini dapat diupayakan dan diselesaikan dengan baik sesuai dengan yang direncanakan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa unjuk kerja kontroler PID digital yang diterapkan pada *real plant* PT326-*Process Trainer* yang populer dan banyak digunakan dalam menggambarkan karakteristik pengaturan temperatur di industri. Struktur kontroler diperoleh dari pemodelan yang dilakukan dengan metoda identifikasi statis dan identifikasi dinamis.

Peneliti menyadari laporan penelitian ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan. Oleh sebab itu, untuk menghasilkan penelitian yang lebih baik dan lebih bermanfaat dimasa yang akan datang, peneliti meminta kritikan dan saran dari para pembaca.

Atas bantuan dari semua pihak yang mendukung terlaksananya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih.

Padang, November 2011
Peneliti,

Risfendra.

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Lembar Identitas dan Pengesahan Penelitian.....	ii
Ringkasan dan Summary	ii
Pengantar Lembaga Penelitian UNP	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	18
BAB IV METODE PENELITIAN	19
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	24
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aktivitas produksi di industri hampir tidak dapat terlepas dari perlakuan panas dalam setiap tahapannya, oleh sebab itu temperatur merupakan salah satu parameter utama di industri yang dikendalikan (*plant*). Dinamika pengendalian temperatur ini dapat diperoleh menggunakan PT326 *process trainer*.(Yesil,2008)

Temperatur merupakan parameter yang sangat sensitif terhadap gangguan, dengan demikian perlu ada aksi kontrol sebagai upaya untuk menjaga keadaannya berada pada nilai yang diinginkan (*setpoint*).

Beberapa kelebihan yang dimiliki kontroler PID (*proporsional integral derivatif*) seperti strukturnya yang lebih sederhana dan kemudahan dalam penalaan parameternya, menyebabkan penerapan kontroler tersebut menjadi populer dan familiar di industri. Namun selama ini penerapan kontroler ini masih merupakan rangkaian elektronik analog, yang memiliki beberapa kelemahan seperti penalaan parameter kontroler yang tidak akurat dan kerumitan dalam upaya penalaan ulang parameter kontroler.

Seiring dengan perkembangan dan penerapan teknologi digital di industri, menyebabkan struktur kontroler PID ini juga terus dikaji dan diujicobakan untuk ditransformasikan menjadi kontroler PID digital yang memungkinkan untuk menggunakan komputer sebagai kontroler. Ada beberapa keuntungan yang diperoleh melalui penerapan algoritma PID digital ini, diantaranya adalah respon plant dan aksi kontrol dapat diamati secara akurat baik dalam bentuk tabulasi maupun data grafis. Keuntungan lain yang diperoleh dengan penerapan algoritma kontrol PID digital tersebut adalah upaya rekayasa data karakteristik dinamik *plant* dan kontroler menjadi lebih mudah, karena data digital dapat disimpan, dianalisa dan direkayasa untuk kepentingan aksi kontrol dan performansi *plant* yang lebih baik (Marlin,2000).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan dirumuskan dengan menerapkan dan menganalisa unjuk kerja sistem kendali temperatur PT326 *Process Trainer* dengan algoritma kontroler PID digital berbasis PC.

1.3. Kontribusi Penelitian

1. Pengembangan rangkaian *interfacing* dan pemrogramannya untuk keperluan akuisisi data dan pengendalian melalui *parallelport*
2. Respon temperatur terkendali dari PT326 *process trainer*.
3. Sebagai materi kajian dalam rekayasa dan penerapan algoritma kontroler pada pembelajaran Sistem Kendali (DIII), Sistem Pengaturan Otomastis dan Teknik Kontrol Industri (DIV) dan Sistem Pengaturan (S1) di Jurusan Teknik Elektro FT-UNP

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

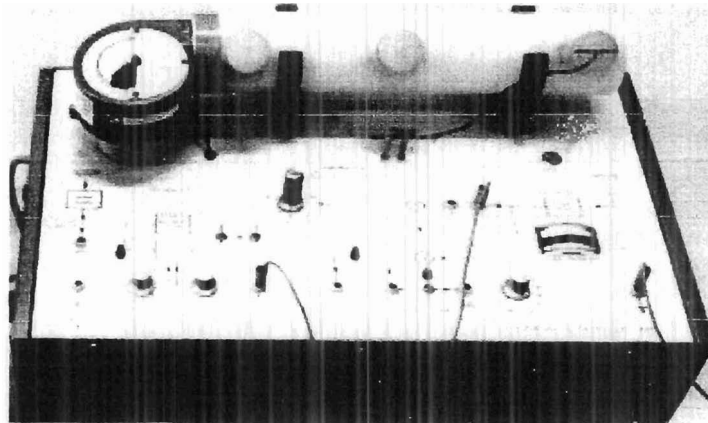
Bab ini membahas beberapa teori yang melandasi penelitian ini diantaranya adalah PT326 *Process Trainer*, metoda identifikasi statis dan dinamis, metoda penalaan kontroler serta rangkaian interfacing ADC-DAC

2.1. PT326 *Process Trainer*

PT326 *Process Trainer* merupakan model umum dari situasi sistem pengendalian temperatur di Industri yang diperlukan untuk menggambarkan gejala *transport delay* dan *transfer lags*.

Proses pada PT326 melibatkan udara yang dihirup dari atmosfer dan ditiupkan kembali menggunakan kipas sentrifugal, selanjutnya udara dipanaskan melalui sebuah *heater* sebelum udara tersebut lepas kembali ke atmosfer melalui cerobong. Kecepatan aliran udara dapat diatur dengan mengatur bukaan katup yang dipasang pada saluran masuk *blower*. (Rahmat.2005)

Objektivitas yang dapat dilakukan dengan menggunakan trainer ini adalah mengendalikan udara yang dilepas ke atmosfer berada pada nilai yang diinginkan. Pengendalian temperatur dilakukan dengan memberikan daya listrik yang bervariasi ke elemen pemanas (aktuator). Adapun temperatur udara diketahui menggunakan sebuah *bead-thermistor* yang dipasang pada tiga posisi disepanjang cerobong. Foto dari PT326 *process trainer* beserta kelengkapannya diperlihatkan pada Gambar 2.1.

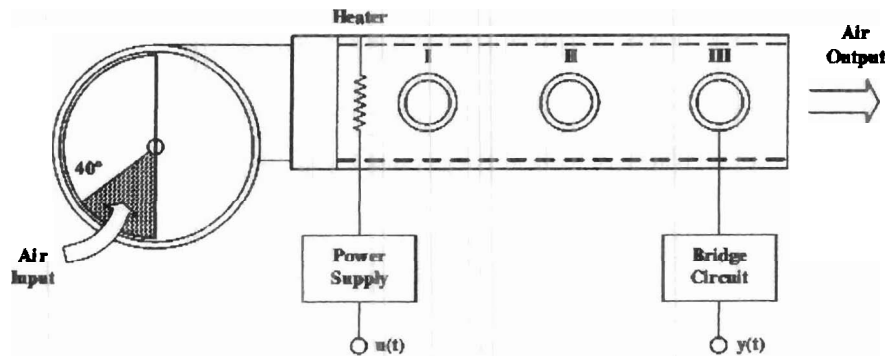


Gambar 2.1. Foto PT326-*Process Trainer Kit* tampak depan

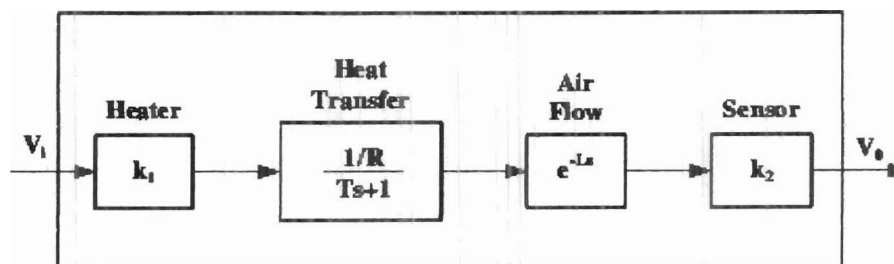
2.2. Model Sistem Proses

Komponen utama yang bekerja dalam sistem temperatur proses PT326 (*plant*) yang dikendalikan ini adalah heater, heat transfer, air flow dan sensor. Secara diagram balok, model dari komponen utama yang membentuk sistem tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.2. Dari penurunan besaran fisiknya, masing-masing komponen utama dimodelkan dalam diagram balok diperlihatkan pada Gambar 3. Secara keseluruhan sistem dapat dimodelkan dalam bentuk fungsi alih seperti yang dituliskan pada Persamaan 1, dimana k adalah perkalian masing-masing konstanta dari heater, heat transfer= $k_1k_2k_3$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{ke^{-\tau_d s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$



Gambar 2.2. Komponen utama sistem PT326 *Process Trainer* (Yesil,2008)



Gambar 2.3. Diagram balok model komponen utama PT326 *Process Trainer* (Yesil, 2008)

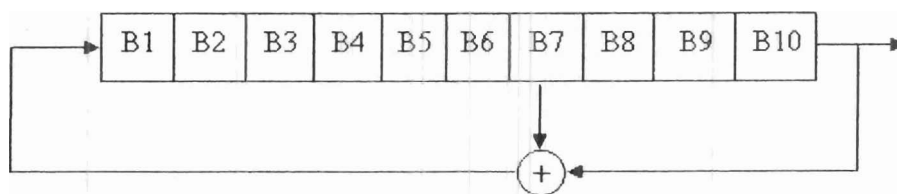
2.3. Identifikasi *Plant*

Perancangan kontroler suatu sistem diawali dengan mengetahui karakteristik *plant*. Hal ini dapat diketahui dari model matematis *plant*. Model matematis diperoleh dengan penurunan matematis berdasarkan sifat fisik *plant* atau proses identifikasi. Penurunan model matematis sistem proses tekanan dilakukan dengan identifikasi secara langsung untuk mendapat data *input-output* sistem. Berdasarkan data *input-output* tersebut, diturunkan model matematis untuk disain kontroler.

2.3.1 *Pseudo Random Binary Sequence (PRBS)*

PRBS adalah deretan pulsa kotak yang termodulasi lebarnya, menyerupai *white noise* diskrit, sehingga mempunyai spektral yang berisi banyak komponen frekuensi. Deret ini bernama *pseudo random*, karena kenyataannya ditandai dengan panjang deret, dengan variasi lebar pulsa secara *random*, tetapi lebih dari waktu batas, deret ini periodik. Periode didefinisikan oleh panjang deret.

PRBS dibangkitkan oleh *shift register* dengan umpan balik (diimplementasikan pada *hardware* dan *software*). Panjang maksimum deret adalah $2^N - 1$ dengan N adalah jumlah sel pada *shift register*. Gambar 2.4 menggambarkan pembangkitan PRBS panjang $2^{10} - 1 = 1023$, didapat dengan menggunakan sebuah *shift register* 10 sel. Perhatikan bahwa sekurangnya satu sel dari N sel *shift register* seharusnya mempunyai nilai logika tidak sama dengan nol (satu secara umum membuat semua nilai awal dari N sel sama dengan logika 1). Tabel 2.1 memberikan aturan panjang maksimum PRBS yang akan dibangkitkan untuk jumlah sel yang berbeda-beda.



Gambar 2.4. Pembangkitan PRBS Panjang $2^{10} - 1 = 1023$ Periode *Sampling*

Karakteristik elemen yang sangat penting dari PRBS adalah durasi maksimum *impuls* PRBS yaitu sama dengan N (jumlah sel). Sifat ini harus dipertimbangkan saat memilih PRBS untuk identifikasi sistem. Untuk identifikasi *gain steady state plant* dengan tepat, durasi dari sekurangnya satu pulsa (durasi maksimum pulsa) harus lebih besar dari *rise time respon plant*. Durasi maksimum pulsa NT_s . Syarat berikut ini mengharuskan :

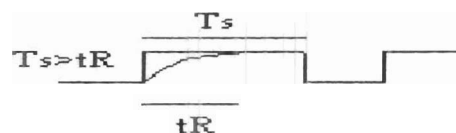
$$N.T_s > t_R \quad (2.2)$$

Dari syarat di atas, pertama tentukan N dan kemudian panjang deret adalah $2^N - 1$

Tabel 2.1. Pembangkitan Panjang Maksimum PRBS (Landu, 1990)

JUMLAH SEL (N)	PANJANG DERET ($L=2^N-1$)	BIT YANG DIJUMLAH B_I DAN B_J
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2 (3,4) dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Lebih jauh lagi untuk melingkupi seluruh spektrum frekuensi dibangkitkan dengan PRBS tertentu, panjang dari tes harus \leq panjang deret.



Gambar 2.5. Pemilihan Durasi Maksimum Pulsa PRBS (Landu, 1990)

Pada banyak kasus, durasi tes L dipilih = panjang deret. Jika durasi tes ditentukan maka harus dipastikan bahwa :

$$(2^N - 1).T_s < L \quad (2.3)$$

Syarat tersebut dapat menghasilkan nilai-nilai yang lebih besar dari N yang berhubungan dengan panjang deret dari durasi yang dilarang. Ini karena T terlalu besar atau karena sistem yang diidentifikasi dapat disusun selama durasi tes.

Inilah sebabnya mengapa pada banyak situasi praktis, frekuensi *submultiple sampling* dipilih sebagai frekuensi *clock* untuk PRBS. Jika :

$$f_{PRBS} = \frac{f_s}{p}, p = 1,2,3 \quad (2.4)$$

maka Persamaan 2.2 menjadi :

$$p.N.T_s > t_r \quad (2.5)$$

Pendekatan ini lebih menarik daripada perluasan panjang deret (dengan kenaikan N) untuk memenuhi Persamaan 2.6. Sesungguhnya jika $N = N + 1$, durasi maksimum dari pulsa berubah dari $N.T_s$ menjadi $(N + 1)T_s$ tetapi durasi deret berlipat menjadi $L'=2L$. Sedangkan jika $f_{PRBS} = \frac{f_s}{2}$ dipilih durasi maksimum pulsa berubah dari $N.T_s$ menjadi $2N.T_s$ untuk durasi berlipat $L'=2L$.

Dari perbandingan dua pendekatan ini diketahui bahwa pendekatan kedua (pembagian frekuensi) mengijinkan suatu pulsa dengan durasi lebih besar untuk didapatkan pada durasi yang identik dari deret dan dari tes. Jika p adalah *integer* pembagi frekuensi, akan mempunyai kasus pembagian frekuensi *clock* (d_{max} = durasi maksimum pulsa):

$$d_{max} = p.N.T_s, L' = 2L, p=1,2,3... \quad (2.6)$$

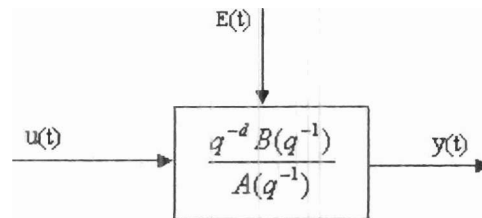
Meningkatkan N dengan $(p-1)$ maka panjang deret tanpa mengubah frekuensi *clock* PRBS akan mengurangi jangkauan frekuensi yang berhubungan dengan kerapatan spektral konstan. Secara umum, ini tidak mempengaruhi kualitas identifikasi karena pada banyak kasus ketika solusi ini dipertimbangkan, *plant* yang diidentifikasi mempunyai *low band pass* atau karena efek atau reduksi dari sinyal atau noise *ratio* pada frekuensi tinggi dapat dikompensasi menggunakan teknik identifikasi yang sesuai.

2.3.2 Model *Auto Regresive eXogenous* (ARX)

Model ARX merupakan model yang digunakan untuk menunjukkan efek dari kontrol dan *disturbance* pada *output* dari *plant*. ARX artinya proses AR dengan *exogenous* (eksternal) *input*, dalam kasus ini $u(t)$. Pembangkitan proses ARX diilustrasikan sebagai berikut :

$$y(t) = -\sum_{i=1}^n a_i y(t-i) + e(t) \quad (2.7)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis : $A(Q^{-1})y(t)=e(t)$



Gambar 2.6. Pembangkitan Proses *Random ARX* (Landu,1990)

Dengan $A(Q^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i Q^{-i}$ merupakan suatu polinomial sehingga semua akar-akarnya yang terletak dalam unit *circle* ($A(Z^{-1}) = 0 \rightarrow |Z| < 1$).

Struktur model ARX dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$A(Q)y(t)=B(Q)u(t-nk)+e(t) \quad (2.8)$$

Melalui bantuan *software* Matlab, model ARX diperoleh menggunakan estimasi dengan metode *least square*. Dengan

$$A(Q) = 1 + a_1 Q^{-1} + \dots + a_n Q^{-n},$$

dan

$$B(Q) = 1 + b_1 Q^{-1} + \dots + b_n Q^{-n}.$$

2.4. Struktur Kontroler

Struktur dasar sistem kontrol digital atau *computer-controlled system* atau sistem kontrol diskrit diperagakan pada Gambar 2.4. Sistem yang dikendalikan (*plant* atau proses) merupakan sistem kontinyu (kecepatan, temperature, gerakan, dll), sementara itu kontroler adalah komputer digital. Dengan demikian diperlukan konversi dari analog ke digital-*Analog to Digital Converter* (ADC) dan sebaliknya-*Digital to Analog Converter* (DAC).

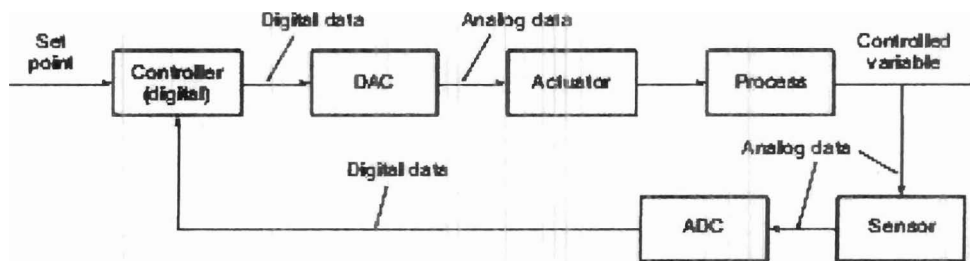
Dalam sistem kontrol digital semua parameter analog, fungsi s dalam persamaan diferensial (Pers.2.9) diubah menjadi fungsi z dalam persamaan beda (Pers.2.10), baik untuk model *plant* maupun untuk parameter kontroler.

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y^{(1)} + a_0 y = u(t) \quad (2.9)$$

$$F(s) = \frac{h(s)}{a(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad m < n$$

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) = b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m u(k-m) \quad (2.10)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}$$

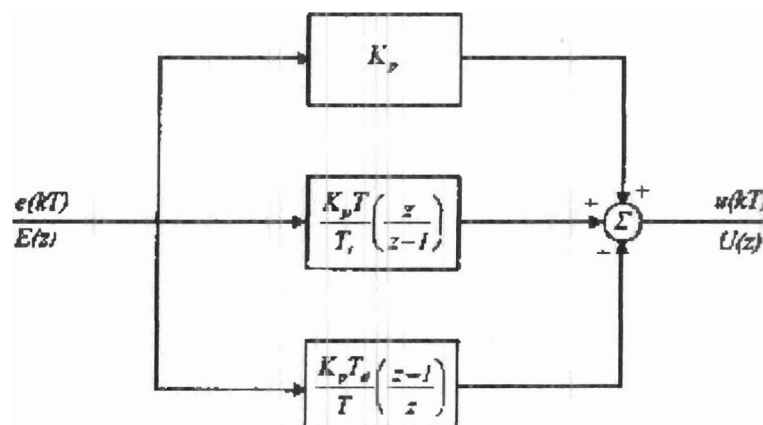


Gambar 2.7. Diagram balok sistem kontroler digital

Transformasi persamaan matematika seperti yang telah dibahas sebelumnya juga dilakukan pada bagian kontroler, dengan kata lain persamaan kontroler PID analog dalam fungsi s pada Persamaan 2.9 ditransformasikan ke fungsi z seperti pada Persamaan 2.10. Struktur kontroler PID digital dalam diagram balok diperlihatkan pada Gambar 2.7.

$$G_c(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (2.11)$$

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right] \quad (2.12)$$



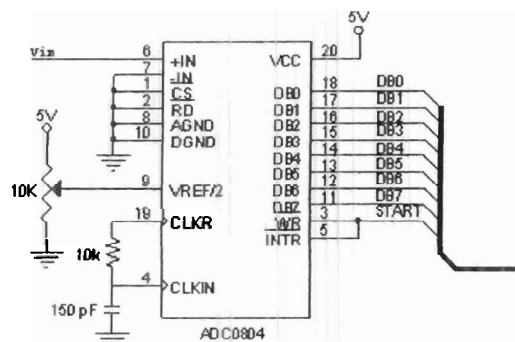
Gambar 2.8. Diagram balok struktur kontroler PID digital (PN,1996).

2.5. Konversi Analog ke Digital

Konversi Analog ke Digital atau ADC (*Analog to Digital Converter*) yang digunakan adalah ADC0804. ADC ini termasuk konverter A/D jenis *Successive Approximation Register* (SAR), dengan waktu konversi 100 μ s, memiliki *input* untuk tegangan diferensial analog (V_{in+} dan V_{in-}), *on-chip clock generator* (clock internal), dan memiliki jumlah data *output* sebanyak 8 bit sehingga resolusi yang dihasilkan untuk tegangan referensi sebesar 5 Volt adalah 19,6 mVolt.

Rangkaian resistor dan kapasitor pada *pin* CLK IN dan CLK R digunakan sebagai *self clocking* pada A/D, di mana

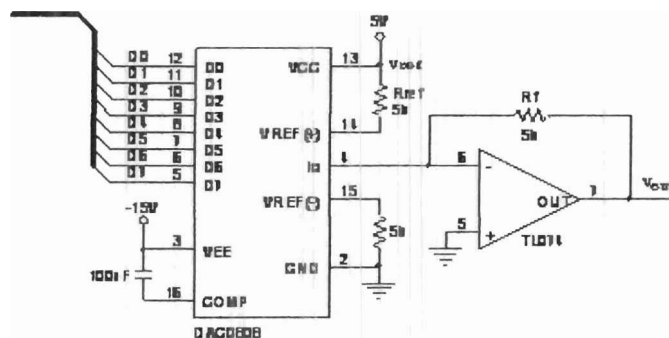
$$f_{CLK} \cong \frac{1}{1,1RC} \quad (2.13)$$



Gambar 2.9. Rangkaian ADC (Johnson,2003)

2.6. Konversi Digital ke Analog

DAC yang digunakan adalah DAC0808 merupakan DAC 8-bit yang dapat diantarmukakan secara langsung dengan IC TTL maupun CMOS. Keluaran DAC ini berupa arus listrik sehingga diperlukan rangkaian konversi arus ke tegangan.



Gambar 2.10. Rangkaian DAC (Johnson,2003)

Besar tegangan keluaran V_{out} pada rangkaian Gambar 7 adalah :

$$V_{out} = \frac{V_{ref} \cdot R_f}{R_{ref}} \left(\frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right) \quad (2.14)$$

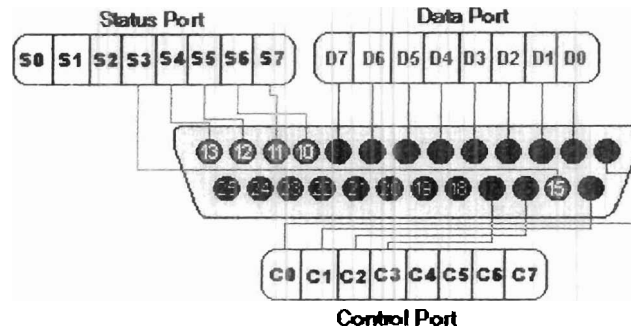
V_{out} maksimum terjadi ketika semua *bit* (D0-D7) bernilai '1', sehingga :

$$V_{out}(\max) = \frac{V_{ref} \cdot R_f}{R_{ref}} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$$

$$V_{out}(\max) = \frac{0,996 V_{ref} \cdot R_f}{R_{ref}} \approx \frac{V_{ref} \cdot R_f}{R_{ref}} \quad (2.15)$$

2.7. Parallel Port

Parallel Port merupakan salah satu port yang tertanam pada sebuah motherboard. Port ini menggunakan terminal DB 25. Konfigurasi pin-pin *parallel port* DB25 ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Penjelasan masing-masing fungsi ditunjukkan oleh Tabel 2.2.



Gambar 2.11. Konfigurasi pin terminal DB 25

Tabel 2.2 menggunakan huruf *n* didepan nama sinyal untuk menyatakan bahwa sinyal tersebut aktif rendah. Isitilah "inverted" artinya sinyal dibaca oleh pin tersebut secara hardware berlawanan. Jika tegangan +5 v(logika 1) diberikan pada bit 7 register status, pin tersebut akan memberikan logika 0.

Keluaran *Parallel port* adalah level logika TTL. Level tensiangannya rendah (+5 volt). Arus yang dapat diperoleh atau diumpankan sekitar 12 mA. *Parallel Port* mempunyai tiga alamat dasar. Ini diperlihatkan pada Tabel 2.3, dimana alamat-alamat ini bisa dirubah menggunakan BIOS.

LPT1 adalah alamat dasar 378h, sedangkan LPT2 ditugaskan 278h. Huruf kecil "h" menandakan alamat dalam heksadesimal. Alamat ini bisa ubah dari mesin ke mesin.

Tabel 2.2. Fungsi Pin-pin pada terminal DB25 *parallel port*

No Pin	Sinyal	Fungsi	Register	Inverted
1	nStrobe	In/Out	Control	Ya
2	Data 0	Out	Data	
3	Data 1	Out	Data	
4	Data 2	Out	Data	
5	Data 3	Out	Data	
6	Data 4	Out	Data	
7	Data 5	Out	Data	
8	Data 6	Out	Data	
9	Data 7	Out	Data	
10	nAck	In	Status	
11	Busy	In	Status	Ya
12	Paper-Out / Paper-End	In	Status	
13	Select	In	Status	
14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	Ya
15	nError / nFault	In	Status	
16	nInitialize	In/Out	Control	
17	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control	Ya
18 – 25	Ground	Gnd		

Tabel 2.3. Alamat *Parallel Port*

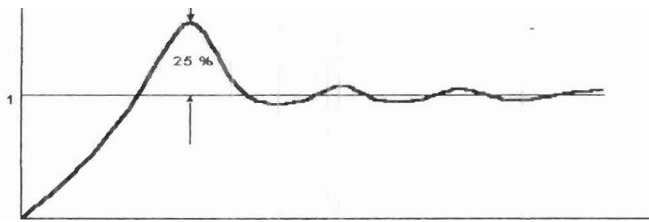
Alamat	Catatan
3BCh – 3BFh	Digunakan untuk port parallel yang tidak terbagung pada kartu video – tidak mendukung alamat ECP
378h – 37Fh	Umumnya alamat untuk LPT 1
278h – 27Fh	Umumnya alamat untuk LPT 2

2.8. Metode Penalaan Paramter Kontroler

Untuk menghasilkan kendali yang optimal, paramter-paramter PID (K_p , T_i dan T_d) harus ditentukan dengan tepat sesuai dengan *plant* yang akan dikendalikan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan parameter kontroler tersebut, diantaranya metode Metode Ziegler-Nichols, Metoda Kurva Reaksi, Metoda Quarter-Decay dan Metoda tanggapan frekuensi .

2.8.1. Metoda Zieglar-Nichols

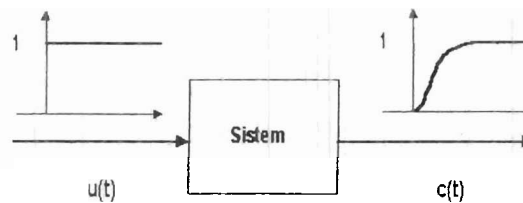
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 2.9 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.



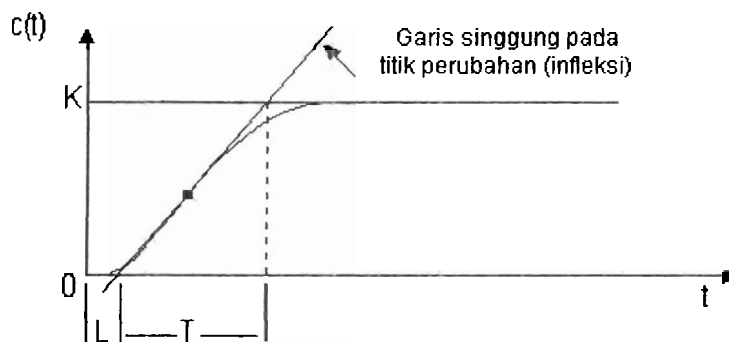
Gambar 2.12 Respon tangga satuan memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum

Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. *Plant* sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan (Gambar 2.13). Kalau *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2.14 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk *plant* integrator maupun *plant* yang memiliki pole kompleks.



Gambar 2.13 Respon tangga satuan sistem



Gambar 2.14 Kurva Respons berbentuk S

Kurva berbentuk-s mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) L dan waktu tunda T . Dari gambar 2.14 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan 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 .

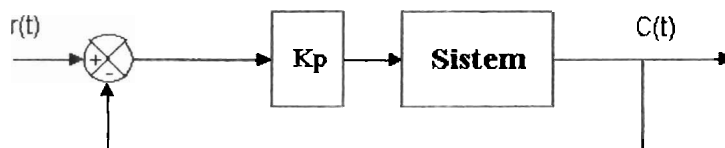
Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 2.4 merupakan rumusan penalaan parameter PI berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 2.4 Penalaan parameter PID dengan metode kurva reaksi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	\sim	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5L$

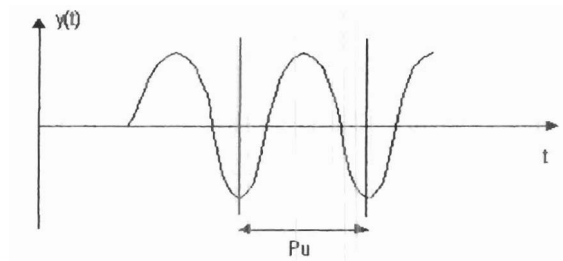
Metode Osilasi

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. *Plant* disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ($T_i = \sim ; T_d = 0$). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (*Sustain oscillation*). Gambar 2.15 menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 2.15. Sistem untaian tertutup dengan alat kontrol proporsional

Nilai penguatan proportional pada saat sistem mencapai kondisi *sustain oscillation* disebut *ultimate gain* K_u . Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate period* T_u (Perdikaris, 1991:433). Gambar 2.16 menggambarkan kurva reaksi untai tertutup ketika berosilasi.



Gambar 2.16 Kurva respon sustain oscillation

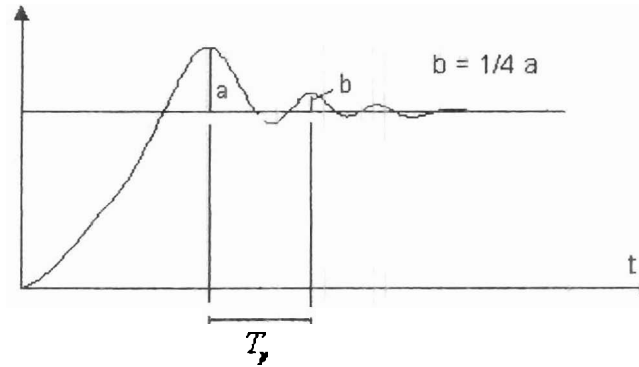
Penalaan parameter PI didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan P_u . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penalaan paramater PI dengan metode osilasi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5.K_u$		
PI	$0,45.K_u$	$1/2 P_u$	
PID	$0,6.K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

2.8.2. Metode *Quarter - decay*

Karena tidak semua proses dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplituda tetap, *Cohen-coon* berupaya memperbaiki metode osilasi dengan menggunakan metode *quarter amplitude decay*. Tanggapan untai tertutup sistem, pada metode ini, dibuat sehingga respon berbentuk *quarter amplitude decay*. *Quarter amplitude decay* didefinisikan sebagai respon transien yang amplitudanya dalam periode pertama memiliki perbandingan sebesar seperempat ($1/4$) (Perdikaris, 1991:434).



Gambar 2.17 Kurva respon quarter amplitude decay

Kontroler proportional K_p ditala hingga diperoleh tanggapan *quarter amplitude decay*, periode pada saat tanggapan ini disebut T_p dan parameter T_i dan T_d dihitung dari hubungan respon sistem.

2.8.3. Metoda tanggapan frekuensi

Perancangan tanggapan frekuensi memberikan informasi secara tidak langsung pada tanggapan transien dari sistem loop tertutup. Tanggapan frekuensi memberi informasi mengenai tanggapan keadaan tunak, margin kestabilan, dan pada lebar pita frekuensi sistem. Langkah pertama yang dilakukan sebelum melakukan perancangan kontroler adalah memperoleh tanggapan frekuensi dari plant yang akan dikendalikan, kemudian dilakukan perancangan kontroler berdasarkan tanggapan frekuensi yang diperoleh. Tiga parameter kontroler PID ditentukan dengan proses perancangan. Perancangan kontroler PI terlebih dahulu dilakukan untuk menentukan nilai parameter K_I , selanjutnya dilakukan perancangan kontroler PID untuk menentukan nilai parameter K_p dan K_D . Adapun prosedur perancangan kontroler PI adalah sebagai berikut:

1. Menghitung frekuensi ω_1 dimana sudut $G(j\omega_1)$ sama dengan $(-180^\circ + \phi_m^\circ + 5^\circ)$, dengan ϕ_m merupakan margin fasa yang dikehendaki.
2. Menghitung zero dari $\omega_o = K_I / K_p = 0.1 \omega_1$ (2.16)
3. $K_p = \frac{1}{|G(j\omega_1)H(j\omega_1)|}$ (2.17)
4. $K_I = K_p \omega_o$ (2.18)

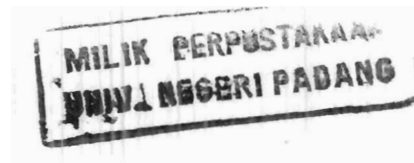
Adapun prosedur perancangan controller PID adalah sebagai berikut:

5. Menghitung frekuensi ω_1 dimana sudut $G(j\omega_1) = (-180^\circ + \phi_m)^\circ$ / $|G(j\omega_1)| < 1$, $|G(j\omega_1)| < 1$.

$$6. K_D = \left[\frac{\sin(\theta)}{\omega_1 |G(j\omega_1)H(j\omega_1)|} \right] + \frac{K_I}{\omega_1^2} \quad (2.19)$$

$$7. K_P = \frac{\cos \theta}{|G(j\omega_1)H(j\omega_1)|} \quad (2.20)$$

Perancangan kontroler menggunakan tanggapan frekuensi ini yang digunakan pada penelitian ini.



BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang dan membuat rangkaian *interface* untuk keperluan identifikasi dan pengendalian.
2. Merancang dan membuat software aplikasi untuk penerapan algoritma kontroler PID digital serta untuk memperoleh respon temperatur dengan bahasa pemrograman Delphi.
3. Menganalisa unjuk kerja respon sistem kendali temperatur yang diimplementasikan pada *real plant* PT326 *process trainer* dengan kontroler PID digital berbasis PC

3.2 Manfaat

1. Algoritma akuisisi data dan hardware *interfacing* yang bermanfaat untuk identifikasi sistem yang lain seperti respon posisi dan kecepatan pada motor servo dan respon sistem level untuk pengendalian sistem proses.
2. Tersedia rangkaian *interfacing* dengan *parallelport* untuk menerapkan algoritma-algoritma pengendalian tingkat lanjut berbasis PC
3. Program aplikasi untuk menerapkan algoritma kontroler dasar (konvensional PID) dan kontroler tingkat lanjut (*intelligent, adaptive, dsb*)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Kontrol Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang selama 6 bulan.

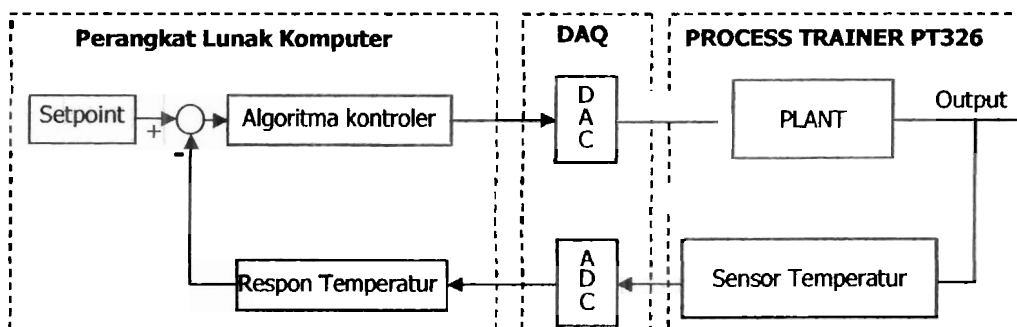
4.2 Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Komputer Pentium III 700 Mhz
- PT326 Process Trainer
- Rangkaian *Interface* berupa ADC dan DAC
- Catu Daya
- Multimeter Sunwa YX-360Tre

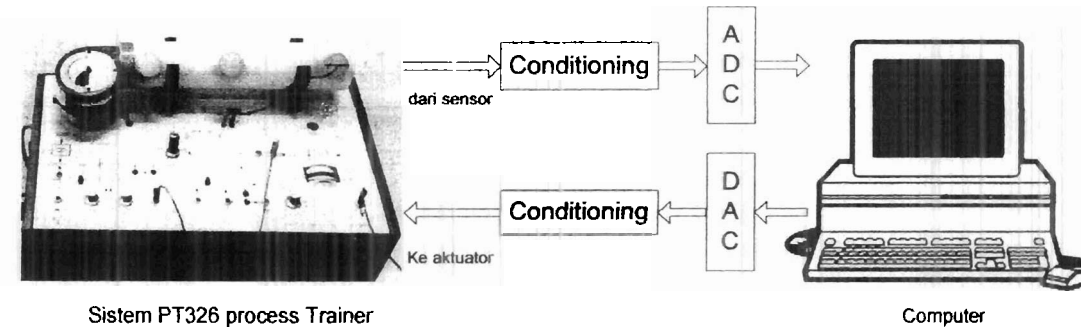
4.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metoda eksperimen di laboratorium Sistem Kontrol FT-UNP. Untuk penerapan aksi kontrol pada PT326 *process trainer*, dilakukan perancangan penelitian yang secara diagram balok diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram balok implementasi PT326 *process trainer*.

Diagram fisik implementasi aksi kontrol pada PT326 *Process Trainer* diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram fisik implementasi PT326 *process trainer*

Realisasi rancangan penelitian yang diperagakan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

1. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk menggali informasi yang diperlukan dalam mewujudkan penelitian yang telah dirancang, diantaranya :

- a. Studi pustaka tentang teknik komunikasi menggunakan *port parallel* komputer
- b. Studi pustaka teknik antarmuka antara komputer dan sistem yang diidentifikasi.
- c. Studi pustaka tentang kontroler PID digital dan algoritma penerapannya.

2. Perancangan perangkat keras

Penelitian ini merancang *hardware* yang diperlukan dalam proses pengendalian berdasarkan Gambar 4.1 dan terdiri dari :

a. Perancangan Rangkaian ADC

Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah tegangan analog dari sensor kecepatan menjadi tegangan digital agar diproses di komputer. Rangkaian ADC yang akan dibuat diperagakan pada Gambar 4.3.

b. Perancangan Rangkaian DAC

Fungsi rangkaian ini adalah mengubah tegangan digital dari komputer menjadi tegangan analog sebagai sinyal masukan bagi motor DC. Rangkaian ADC diperlihatkan pada Gambar 4.4.

3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini ditujukan untuk memperoleh program aplikasi yang dapat dimanfaatkan sebagai *graphic user*

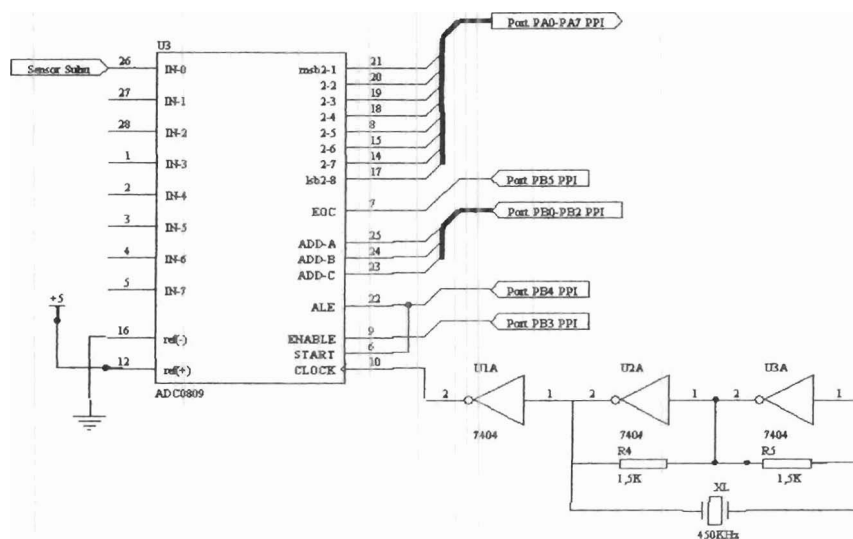
interface (GUI) dalam sistem kendali proses berbasis PC. Melalui program aplikasi ini pengguna dapat mengendalikan temperatur secara manual dan otomatis. Untuk pengendalian secara otomatis, pengguna tinggal klik tombol untuk menaktifkan kontroler. Di samping itu, pengguna dapat mengamati respon temperatur secara kontinyu dan *real-time* melalui monitor komputer.

4.4 Perancangan Perangkat Keras

Penelitian ini merancang *hardware* yang diperlukan dalam implementasi sistem kendali berdasarkan Gambar 4.2 dan terdiri dari :

4.4.1 Perancangan Rangkaian ADC

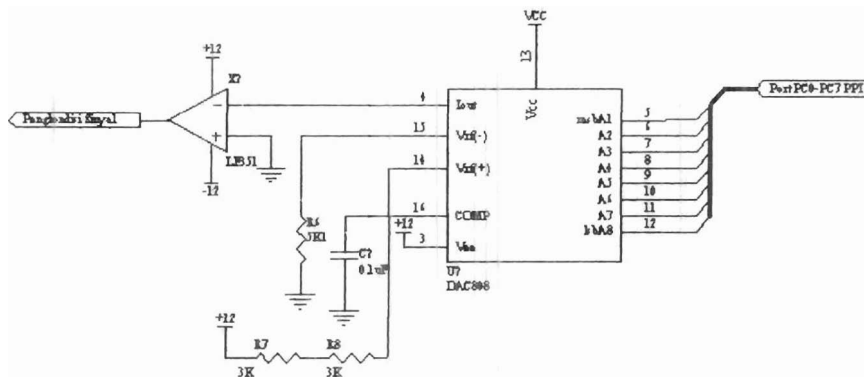
Mengubah tegangan analog dari sensor kecepatan menjadi tegangan digital agar diproses lebih lanjut di komputer. Komponen utamanya adalah IC ADC0804 yang memiliki kemampuan konversi 8-bit atau resolusi sebesar 0.0196 volt/bit Rangkaian ADC diperlihatkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Rangkaian ADC

4.4.1.1 Perancangan Rangkaian DAC

Mengubah tegangan digital dari komputer menjadi tegangan analog sebagai sinyal masukan bagi motor DC. Rangkaian ADC diperlihatkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian DAC

4.4.2 Perancangan Perangkat Lunak Identifikasi

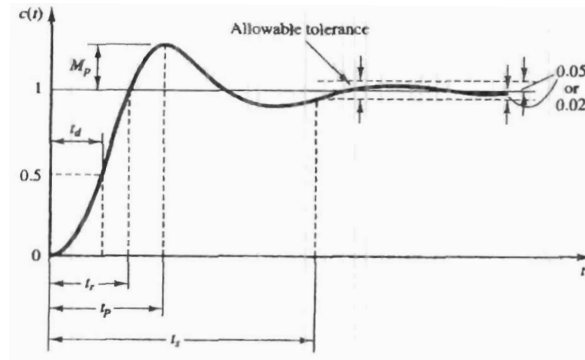
Perangkat lunak untuk implementasi dibuat dengan bahasa program Visual Basic 6.0. Program ini memberikan data sinyal kontrol dari Komputer melalui konversi DAC ke *plant* sebesar 0 – 10 Vdc. Program ini menerima data dari sensor temperatur yang telah dikonversi ADC dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel serta dapat disimpan dalam bentuk file teks (.txt) Data data yang telah disimpan tersebut dapat diolah dengan bantuan Matlab atau Microsoft Office Excell.

4.4.3 Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan metoda implementasi langsung pada *real plant*. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Menganalisis respon transien sistem

Terdapat beberapa parameter yang diperhatikan dalam melakukan analisis respon transien sistem. Gambar 4.15 menunjukkan beberapa parameter respon transien sistem yang dapat diuji pada penelitian ini.



Gambar 4.15 Respon transien sistem

- b. Membandingkan kinerja kontroler PID pada sistem model dari identifikasi statis dengan sistem model dari identifikasi dinamis.

Pengujian kinerja sistem pengaturan temperatur dilakukan dengan membandingkan kinerja antara sistem dengan model hasil identifikasi statis dengan sistem dengan model hasil identifikasi dinamis. Respon sistem yang baik akan dipilih untuk langkah berikutnya, yaitu tahap implementasi pada *real plant*.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Bab ini membahas perbandingan unjuk kerja sistem pengaturan temperatur hasil pemodelan metoda statis dengan unjuk kerja sistem hasil pemodelan metoda dinamis menggunakan bantuan software Matlab. Agar hal tersebut dapat dilakukan dengan baik, maka perlu dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen yang membangun sistem pengaturan temperature dengan PID digital berbasis PC tersebut. Pengujian dilakukan pada *hardware* dan *software*. Keberhasilan pengujian tiap blok memberikan jaminan bagi keberhasilan sistem kendali secara keseluruhan.

5.2 Pengujian *Hardware*

Pengujian *hardware* atau perangkat keras dilakukan tiap blok untuk memastikan, tiap blok *hardware* bekerja sesuai dengan desain yang diharapkan. Adapun alat yang digunakan dalam pengujian adalah;

1. Komputer Pentium III 700 Mhz
2. Catu Daya
3. Kabel Komunikasi Paralel Port
4. Multimeter Sunwa YX-360Tre
5. *PT326 Process Trainer*
6. Rangkaian Interface ADC-DAC

5.2.1 Pengujian DAC

Prosedur Pengujian

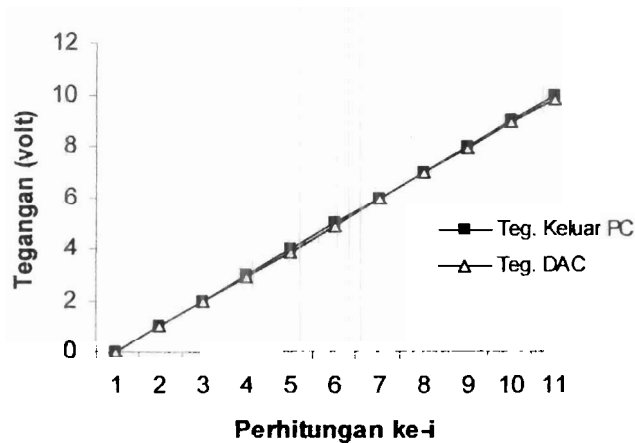
1. Rangkaian *interface* (ADC-DAC) dihubungkan dengan PC melalui saluran komunikasi paralel
2. Melalui *software* pengujian (Gambar 5.3), tegangan keluar DAC diset sebesar 0 volt, lalu diukur menggunakan multimeter.
3. Langkah 2 diulangi untuk tegangan yang terus ditingkatkan dari 1 sampai 10 volt.

Hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 5.1 dan Gambar 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian

No	Tegangan Keluar PC (volt)	Tegangan DAC (volt)	Kesalahan	% Kesalahan
1	0	0,00	0,00	0,00
2	1	0.99	0.01	1,00
3	2	1.95	0.05	2.50
4	3	2.89	0.11	3.67
5	4	3.85	0.15	3.75
6	5	4.90	0.10	2,00
7	6	5.95	0.05	0.83
8	7	6.99	0.01	0.14
9	8	7.95	0.05	0.63
10	9	8.95	0.05	0.56
11	10	9.85	0.15	1.50
	Total % Kesalahan			1.51

Pengujian DAC



Gambar 5.1 Grafik Hasil Pengujian DAC

Berdasarkan tabel 5.1, diperoleh informasi bahwa % kesalahan pengkonversian DAC adalah 1,51 %. Sedangkan dari gambar 5.1, diketahui bahwa DAC cukup linier dalam melakukan konversi tegangan. Dengan demikian, berdasarkan data hasil pengujian, DAC dapat digunakan untuk memberikan sinyal kontrol kontinyu yang linier dalam pengendalian temperatur pada PT326 *process trainer*.

5.2.2 Pengujian ADC

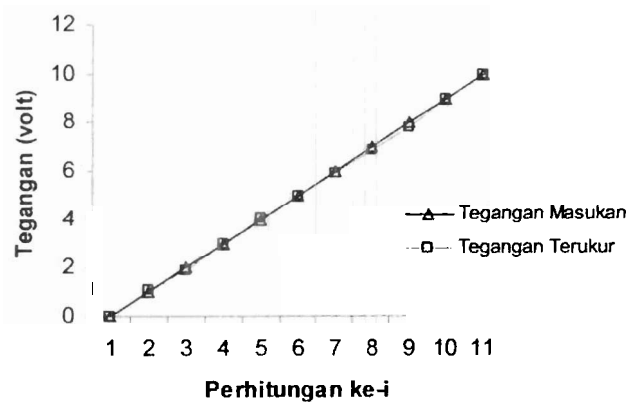
Pengujian ADC ditujukan untuk mengamati linieritas konversi dari tegangan analog dari sensor temperatur menjadi tegangan digital yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada monitor komputer. Prosedur pengujian ADC ini dapat dijelaskan pada langkah-langkah berikut:

1. Rangkaian *interface* (ADC-DAC) dihubungkan dengan PC melalui *parallelport*
2. Catu daya diaktifkan dengan menekandan tombol *Power Switch*, lalu aktifkan *software* akuisisi data (Gambar 5.3)
3. Berikan tegangan masukan ke ADC 0 volt melalui catu daya variabel.
4. Amati dan catat hasilnya pada layar monitor. Melalui *software* pengujian, tegangan yang terbaca di komputer sebesar 0 volt .
5. Langkah 4 diulangi untuk tegangan masuk dari 1 sampai 10 volt.

Hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 5.2 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian

No	Tegangan Masukan ADC (volt)	Tegangan Terbaca (volt)	Error	%
1	0	0,0000	0,0000	0,000
2	1	1,0588	-0,0588	5,880
3	2	1,8824	0,1177	5,883
4	3	2,9911	0,0089	0,297
5	4	4,0392	-0,0392	0,980
6	5	4,9804	0,0196	0,392
7	6	5,9608	0,0392	0,654
8	7	6,9019	0,0980	1,401
9	8	7,8430	0,1570	1,963
10	9	8,9412	0,0588	0,653
11	10	10,000	0,0000	0,000
Total % Kesalahan				1,646



Gambar 5.2 Grafik Hasil Pengujian ADC

Berdasarkan Tabel 5.2, diperoleh informasi bahwa % kesalahan pengkonversian ADC adalah 1,64 %. Sedangkan dari Gambar 5.1, diketahui bahwa ADC cukup linier dalam melakukan konversi tegangan. Dengan demikian, berdasarkan data hasil pengujian, ADC dapat digunakan dalam akuisisi data temperatur dari PT326 *Process Trainer*.

5.2.3 Identifikasi Statis

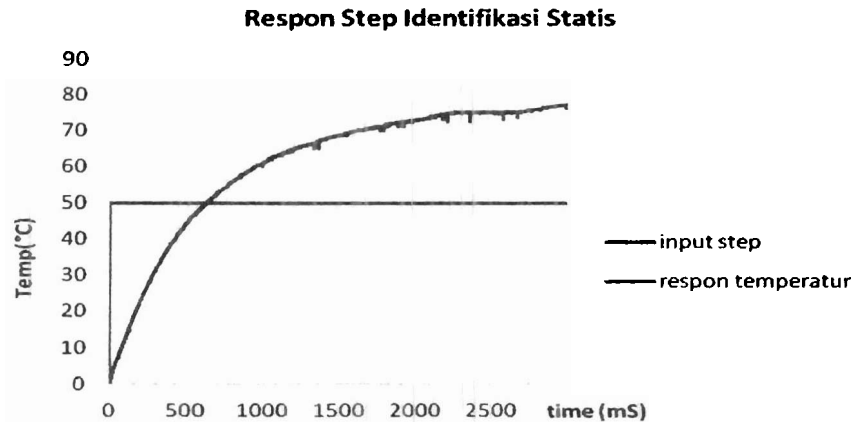
Memperoleh model matematik suatu sistem proses dengan cara penurunan besaran besaran fisik yang terkait, sangatlah sulit dan memakan waktu yang lama. Secara praktis, model matematik suatu sistem proses dapat dimodelkan dengan identifikasi statis. Identifikasi statis merupakan upaya memperoleh model matematik dari PT326 *Process Trainer* dengan memberi sinyal uji step dan merekam respon sistem.

1. Hubungkan *plant* PT326 *Process Trainer* dengan rangkaian *interface*. Hasil pembacaan sensor (terminal Y) dihubungkan dengan ADC, external control (terminal A) dihubungkan dengan DAC.
2. Hubungkan rangkaian *interface* ke komputer melalui *parallel port*.
3. Jalankan Program Akuisisi data, maka tampil form identifikasi seperti Gambar 5.3. Untuk identifikasi statis, maka deret PRBS diisi bebas, namun yang penting adalah tegangan logika 0 dan tegangan logika 1 harus diisi nilai tegangan yang sama. Dalam penelitian ini diisi dengan tegangan 5 volt (*maksimum step*). Waktu cuplik = 1 ms, Jumlah Data =3000



Gambar 5.3 Tampilan *Software* Identifikasi

4. Hidupkan Catu daya dan tekan tombol “Mulai” pada layar komputer
5. Diperoleh data respon temperature seperti grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5.4, jika respon temperature dianggap telah mencapai daerah mantap (*steady state*) klik tombol “Stop” dan “Simpan”



Gambar 5.4 Respon temperatur untuk identifikasi dinamis

Dari Gambar 5.4 diketahui respon temperatur terhadap *setpoint* satuan tangga ($step=50^{\circ}\text{C}$). Ada dua data penting yang diperoleh hasil identifikasi statis ini. Pertama, Model matematik dari PT326 *Proses Trainer* dengan metoda praktis kurva S sehingga diperoleh Model Matematik sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} e^{-\tau s} \quad (2.21)$$

Dengan menggunakan analisis identifikasi Strejc untuk menentukan fungsi alih plant diperoleh model matematik parameter PT326 *Process Trainer*:

$$G(s) = \frac{0.0134}{(s^2 + 1.001s + 0.0014)}$$

Kedua, berdasarkan respon identifikasi statis diperoleh waktu cuplik (*time sampling*, T_s) untuk identifikasi dinamis. Berdasarkan respon identifikasi statis, maka T_s untuk identifikasi dinamis adalah 0.1 dari *rise time* ($t_{r \text{ statis}}$):

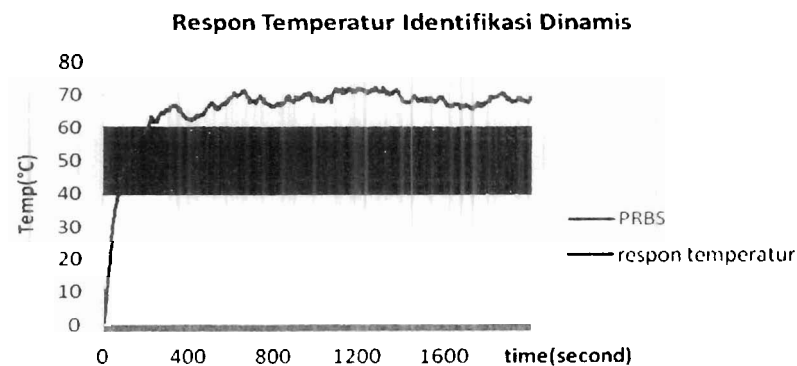
$$\begin{aligned} T_s \text{ dinamis} &= 0.1 * t_{r \text{ statis}} \\ &= 0.1 * 20 \text{ detik} \\ &= 2 \text{ detik} \end{aligned}$$

5.2.4 Identifikasi Dinamis

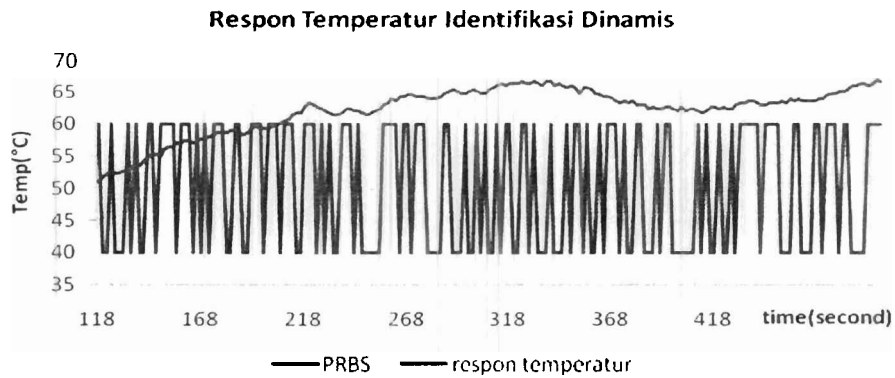
Identifikasi dinamis merupakan upaya memperoleh model matematik suatu sistem proses yang secara prinsip tidak jauh berbeda pada identifikasi statis. Namun pada metoda ini *plant* diberi masukan sinyal uji acak PRBS untuk memperoleh respon karakteristik yang lebih beragam. Dengan demikian diharapkan model matematik yang diperoleh lebih mendekati karakteristik *plant* yang sesungguhnya.

1. Hubungkan *plant* PT326 *Process Trainer* dengan rangkaian *interface*. Hasil pembacaan sensor (terminal Y) dihubungkan dengan ADC, external control (terminal A) dihubungkan dengan DAC.
2. Hubungkan rangkaian *interface* ke komputer melalui *parallel port*.
3. Jalankan Program Akuisisi data, maka tampil form identifikasi seperti Gambar 5.3. Pada identifikasi dinamis masukkan kombinasi deret PRBS 10 bit sebagai berikut 1-0-0-1-1-0-0-0-1-0, tegangan logika 0 = 4 volt dan tegangan logika 1 = 6 volt. Waktu cuplik = 2 detik, Jumlah Data = 1000
4. Hidupkan Catu daya dan klik tombol “Mulai” pada form identifikasi dinamis di layar komputer.
5. Amati grafiknya dan tekan tombol “Stop” jika respon temperature dianggap telah mencapai daerah mantap (*steady state*), lalu simpan data.

Grafik hasil identifikasi dinamis keseluruhan untuk 2000 detik ditunjukkan pada Gambar 5.5. Untuk memperjelas dinamika data respon dan sinyal uji PRBS, maka hasil akuisisi data identifikasi dinamis untuk data diperkecil diperagakan Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Respon temperatur untuk identifikasi dinamis



Gambar 5.6 Respon temperatur terhadap sinyal PRBS yang diperbesar

Berdasarkan data *input-output* yang diperoleh dari identifikasi dinamis diturunkan persamaan model matematik dengan pendekatan ARX orde dua 121 ($n_a=1$ $n_b=2$ $n_k=1$). Estimasi model dilakukan dengan bantuan fasilitas *system identifications toolbox* yang tersedia pada Matlab. Diperoleh model matematik dari PT326 *Process trainer* dalam bentuk persamaan diskrit sebagai berikut:

$$A(z-1)y(k) = B(z-1)u(k-d) + e(k) \quad (2.22)$$

Model parameter PT326 *Process Trainer* yang diperoleh :

$$A(z) = 1 - 0.9862 z^{-1}$$

$$B(z) = 0.04821 z^{-1} - 0.2379 z^{-2}$$

Dalam bentuk fungsi alih:

$$G(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{0.04821z^{-1} - 0.2379z^{-2}}{1 - 0.9862z^{-1}}$$

5.1 Desain Kontroler

Kontroler yang digunakan adalah dua kontroler PID untuk dua model berbeda yang diperoleh dari identifikasi statis dan identifikasi dinamis.

Metode tanggapan frekuensi (digunakan untuk menentukan parameter K_p , K_i dan K_d dalam desain kontroler PID. Untuk model plant PT326 *Process Trainer* yang diperoleh dari hasil identifikasi **dinamis** diperoleh parameter kontroler PID sebagai berikut:

$$K_p = 1.6197$$

$$K_i = 0.0121$$

$$K_d = 0.0223$$

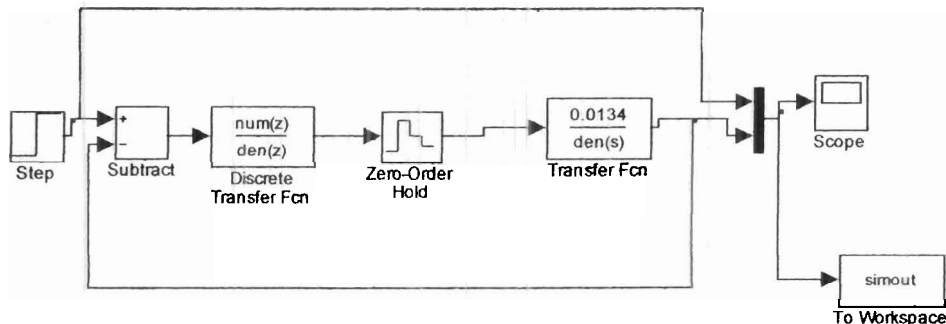
Desain kontroler PID selanjutnya dilakukan untuk model plant PT326 *Process Trainer* yang diperoleh dari hasil identifikasi **statis** dengan memberikan *setpoint* sebesar 50°C . Parameter kontroler PID yang diperoleh sebagai berikut;

$$K_p = 104.6370$$

$$K_d = 18.6852$$

$$K_i = 0.2250$$

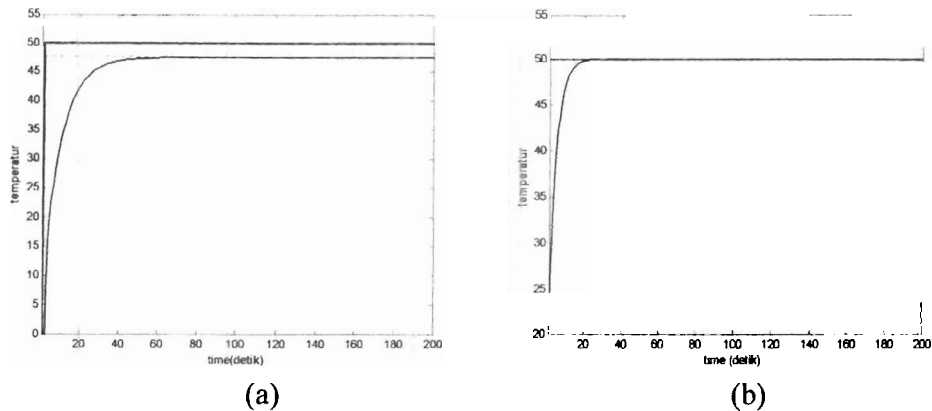
Parameter kontroler yang diperoleh disimulasikan menggunakan simulink-Matlab. Diagram balok simulasi sistem kendali temperatur PT 326 *Process Trainer* diperagakan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Diagram Balok Simulasi Sistem Kendali Temperatur

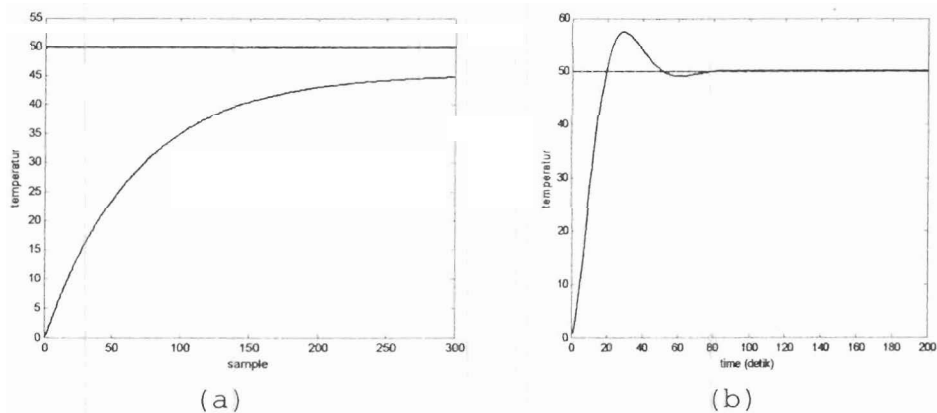
Aktifitas simulasi dilakukan dua kali, pertama untuk parameter kontroler yang diperoleh berdasarkan model identifikasi dinamis dan berikutnya parameter kontroler diganti dengan parameter kontroler yang diperoleh berdasarkan identifikasi statis.

Respon sistem PT326 *Process Trainer* dengan kontroler PID yang diperoleh berdasarkan identifikasi dinamis secara simulasi diperagakan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Respon simulasi *plant* PT326 (model identifikasi dinamis)
 (a) tanpa kontroler PID (b) dengan kontroler PID

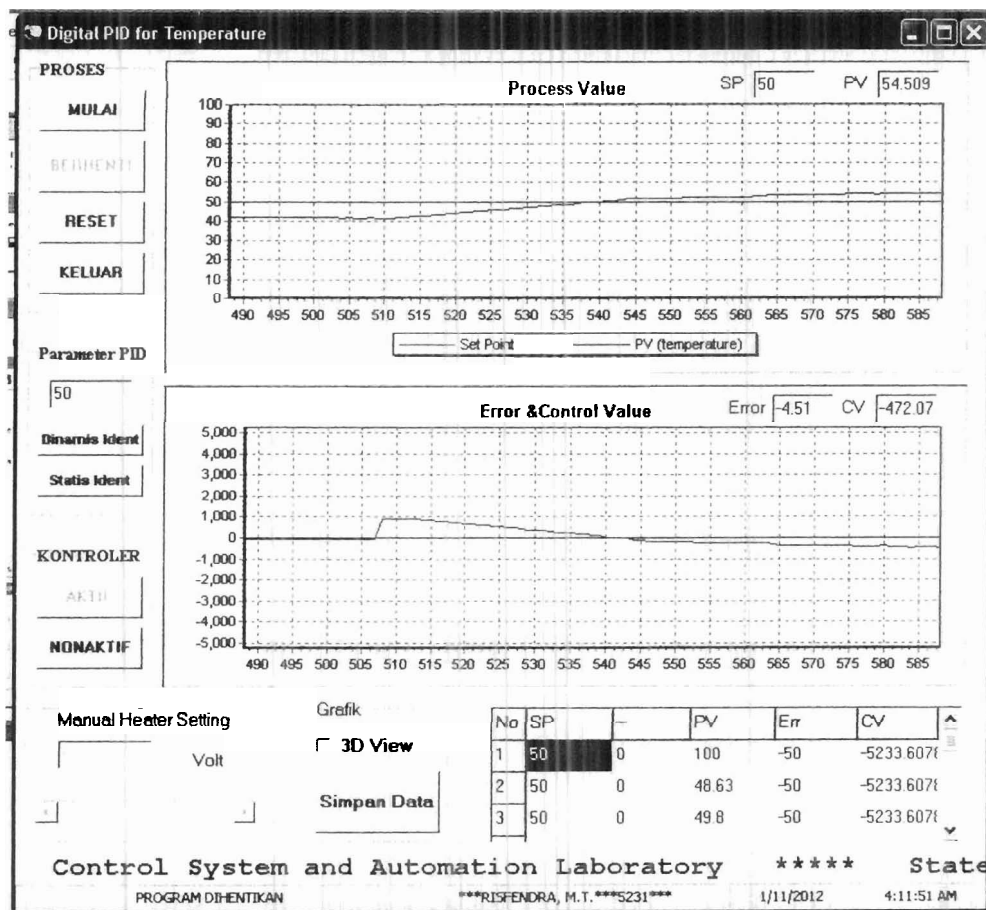
Berdasarkan Gambar 5.8 (a) dapat dilihat respon *output plant* sebesar $47,5^{\circ}\text{C}$ tanpa kontroler PID, output plant ini lebih kecil dari *setpoint* yang diberikan sebesar 50°C . Dengan menggunakan kontroler PID (Gambar 5.8b) untuk *setpoint* sebesar 50°C diperoleh suhu aktual sistem mengikuti *setpoint* yang diberikan yaitu sebesar 50°C , *settling time* berada pada $t = 15$ detik, *rise time* = 8 detik dengan persentase *overshoot* sebesar 0.148% dan error steady state nol. Dari gambar diatas, terlihat bahwa kontroler PID mampu menghilangkan *overshoot* serta memberikan respon keluaran yang lebih baik.



Gambar 5.9. Respon Simulasi *plant* PT326 (model identifikasi statis)
 (a) tanpa kontroler PID (b) dengan kontroler PID

Gambar 5.9(a) memperlihatkan respon plant PT326 *Process Trainer* tanpa kontroler PID, keluaran suhu aktual sistem yang diperoleh sebesar 45°C lebih kecil dari *setpoint* sebesar 50°C. Penerapan kontroler PID mampu mengikuti *setpoint* yang diberikan yaitu sebesar sebesar 50°C, *settling time* berada pada $t = 47$ detik, *rise time* = 14 detik dengan persentase *overshoot* sebesar 14.5% dan error steady state mendekati nol. Dari Gambar 5.9, terlihat bahwa dengan tambahan kontroler PID memberikan respon keluaran yang lebih baik, namun secara keseluruhan masih kurang memuaskan dilihat dari masih adanya *overshoot*.

Dengan demikian, sesuai dengan rencana awal penelitian ini seperti yang telah dikemukakan pada subbab 4.4.3 poin b, bahwa parameter kontroler yang memiliki respon simulasi yang lebih baik saja yang akan diterapkan pada *real plant PT326 process trainer*.



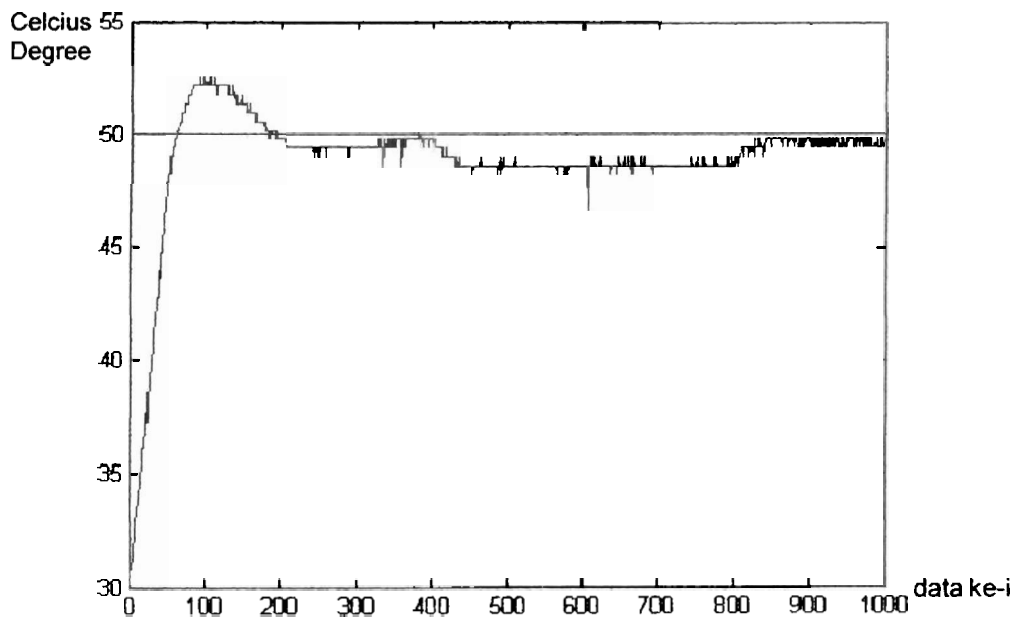
Gambar 5.10. Tampilan *Software* Aplikasi Sistem Kendali *Plant PT326*

5.1.1 Unjuk Kerja Sistem

Unjuk kerja sistem secara keseluruhan merupakan penerapan algoritma kontroler pada *real plant* PT326 *process trainer*. Diagram balok implementasi dan diagram fisik untuk sistem kendali temperatur ini diperagakan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Adapun *software* aplikasi untuk implementasi ini memiliki tampilan seperti yang diperagakan pada Gambar 5.10.

Software aplikasi dirancang untuk menampilkan respon temperature dalam satuan derajat celcius dalam bentuk grafik dan tabel. Data tabel dapat disimpan dalam tipe .txt, dimana data tersebut dapat diolah dan ditampilkan menggunakan *software* aplikasi Matlab dan Excell. Pada jendela aplikasi ini pengguna dapat mengendalikan temperatur secara manual menaikkan dan menurunkan tegangan *heater* dengan cara menggeser *scrollbar* tegangan heater (0-10 Volt). Untuk pengendalian temperratur secara otomatis pengguna hanya perlu mengaktifkan kontroler dengan menekan tombol “Aktif” pada *frame* kontroler.

Respon temperatur yang diperoleh dari penerapan kontroler PID digital pada *real plant* PT326 *process trainer* ini, ditampilkan dalam bentuk grafik dengan bantuan *software* aplikasi Matlab (*figure plot*) dengan waktu cuplik 0.1 detik, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11. Respon implementasi *plant* PT326 dengan parameter kontroler berbasis identifikasi dinamis

Berdasarkan Gambar 5.11 diperoleh informasi tentang unjuk kerja sistem yang menerapkan parameter kontroler berdasarkan model identifikasi dinamis, yaitu *settling time* dicapai pada $t = 20$ detik, *rise time* = 5,6 detik dengan persentase *overshoot* sebesar 5.1% dan error steady state 1,37 °C. Unjuk kerja tersebut mendekati hasil simulasi, hanya saja persentase *overshoot* (M_p) lebih besar dan masih terdapat *error steady state* (E_{ss}), namun besaran tersebut masih dalam rentang nilai toleransi yang diperbolehkan untuk pengendalian sistem proses.

Grafik yang terdapat pada Gambar 5.11 juga menginformasikan bahwa sistem tidak mampu mereduksi gangguan yang diberikan, yaitu pada pengambilan data ke-400 atau setelah 40 detik sistem diganggu dengan memperbesar bukaan katup udara masuk dari 40° menjadi 80°. Tidak terlihat aksi untuk mengurangi kesalahan dalam selang waktu 40 detik, sampai gangguan dihentikan dengan mengembalikan bukaan katup udara pada posisi semula pada waktu ke 80 detik. Hal ini merupakan kelemahan dari penerapan kontroler PID yang penalaan parameter kontrolernya diasumsikan pada model yang tetap atau dianggap tidak terjadi perubahan pada parameter *plant* yang dikendalikan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Serangkaian aktifitas dalam penelitian ini secara keseluruhan dapat mencapai tujuan penelitian yang telah direncanakan. Dari hasil dan bahasan yang telah dikemukakan maka diperoleh beberapa kesimpulan dan saran.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, maka dapat tulis beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rangkaian *interfacing* untuk keperluan akuisisi data, baik ADC maupun DAC berfungsi baik dengan kesalahan linieritas konversi untuk ADC=1,646% dan DAC=1,51%
2. *Software* aplikasi yang dirancang dapat mendukung penerapan algoritma kontroler PID digital berbasis PC ini dengan baik.
3. Penerapan parameter kontroler PID berdasarkan model identifikasi dinamis ini menunjukkan hasil yang memuaskan (mendekati hasil simulasi), yaitu *settling time* dicapai pada $t = 20$ detik, *rise time* = 5,6 detik dengan persentase *overshoot* sebesar 5.1% dan error steady state 1,37 °C.

6.2 Saran

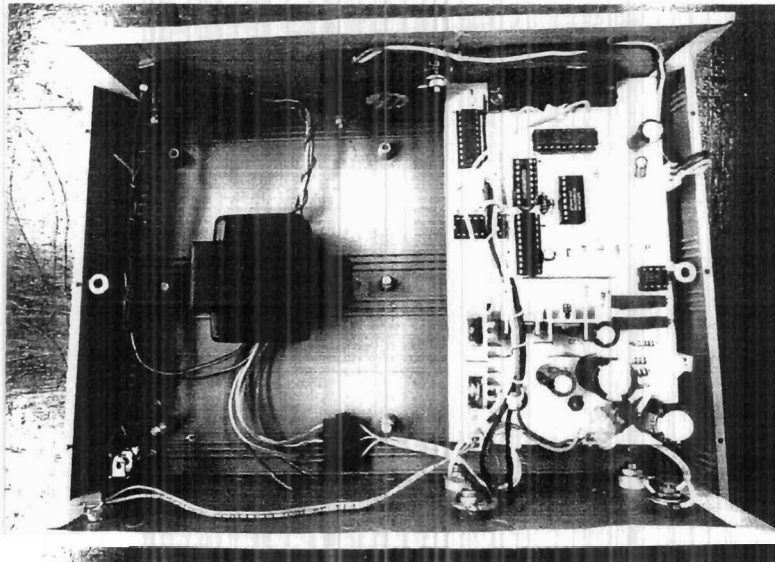
Untuk pencapaian hasil yang lebih baik, berdasarkan aktifitas yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka disarankan untuk hal-hal sebagai berikut:

1. Penyempurnaan rangkaian *interface* untuk mencapai kemampuan pengambilan data dalam waktu cuplik yang lebih singkat dan peningkatan resolusi konversi yang lebih tinggi.
2. *Software* masih perlu dikembangkan terus, karena memasukkan parameter kontroler belum dapat dilakukan melalui jendela aplikasi ini, namun masih perlu merubah listing program. Berikutnya adalah menyatukan aplikasi untuk identifikasi dan aplikasi pengendalian.

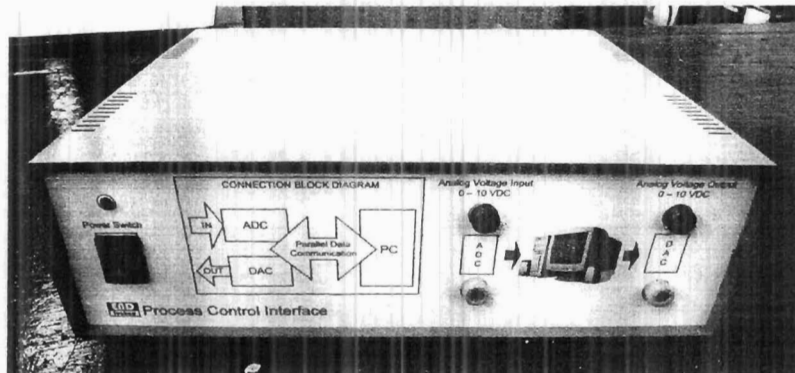
DAFTAR PUSTAKA

- Dorf, Richard C. 2001. *Modern Control Systems*. Prentice Hall, Inc. New Jersey
- Dorsey, John. 2002. *Continuous and Discrete Control Systems: Modeling, Identification, Design and Implementation*. McGraw Hill. New York
- Dubay, G.K. 1993. *Power Semiconductor Controlled Drivers*. Englewood Cliffs. Prentice Hall, Inc. New Jersey
- Dutton, Ken. 1998. *The Art of Control Engineering*. Addison Wisley: England
- Johnson, Curtis D. 2003. *Process Control Instrumentation Technology*. Prentice Hall, Inc. New Jersey
- Maloney, Timothy J. 2001. *Modern Industrial Electronics*. Prentice Hall, Inc. New Jersey
- Malvino, Albert Paul. 1987. *Prinsip-prinsip dan Penerapan digital*. 3rd-ed Penerjemah Irwan Wijaya. Erlangga. Jakarta
- Marlin, Thomas E. 2000. *Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance*. McGraw Hill. New York
- Ogata, Katsuhito. 1994. *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1* (terjemahan). Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Perdikaris, George. 1991. *Computer Controlled System Theory and Applications*. Kluwer Academic Pub. Netherlands
- Pintelon, R. 2001. *System Identification: a frequency domain approach*. IEEE Press. New York
- PN. Paraskevopoulos. 1996. *Modern Control Engineering*. Prentice Hall. London.
- Rahmat, Mohd. Fua'ad. 2005. *Jurnal Teknologi Universitas Teknologi Malaysia*. Modeling of PT326 Hot Air Blower Trainer Kit Using PRBS Signal and Cross Correlation Technique.
- Yesil, Engin. 2008. *Turkey Jurnal Electrical Engineering*. Online Tuning of Set-point Regulator with a Blending Mechanism Using PI Controller. Vol.16 No.2.

LAMPIRAN.



Gambar A. Rangkaian interface ampak atas tanpa tutup



Gambar B. Kemasan rangkaian interface yang dikembangkan



Gambar C. Pengambilan data implementasi kontroler PID digital berbasis PC



UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Jl Prof Dr Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131
Telp (0751) 445998 FT (0751)7055644,445118 Fax 7055644
E-mail : info@ft.unp.ac.id



DAFTAR HADIR SEMINAR HASIL PENELITIAN DIPA UNP TAHUN 2011

HARI/ TANGGAL: SABTU / 29 OKTOBER 2011

NO.	NAMA	TANDA TANGAN
1	Bustanun	1
2	ASNIL	2
3	Oriza Candra	3
4	Ali Basrah Pulungan	4
5	Hankah	5
6	Hastuti	6
7	Ichwan Yelplanhar	7
8	YUSUF FORNANDO	8
9	IRMA H	9
10	Asmudi	10
11	FIVIA ELIZA	11
12	HABIBULLAN	12
13	ASCENERI	13
14	JAMUS	14
15	Risfendva	15
16		16
17		17
18		18
19		19
20		20



Padang, 29 Oktober 2011

Ketua Jurusan,

Oriza Candra, S.T.,M.T.

NIP 19721111 199903 1 002

Surat Kuasa No.

534/UN35.1.2.3/TU/2011

Tanggal : 22 Oktober 2011

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG