



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENERAPAN PENGENDALI PI DAN PREDIKTIF METODE
PROJECTED DESIRED TRAJECTORIES UNTUK
PENGENDALI LEVEL TERKOORDINASI PADA
SISTEM DUAL RESERVOIR**

TESIS

YOYOK DWI SETYO PAMBUDI

0806424794

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KONTROL INDUSTRI
UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENERAPAN PENGENDALI PI DAN PREDIKTIF METODE
PROJECTED DESIRED TRAJECTORIES UNTUK
PENGENDALI LEVEL TERKOORDINASI PADA
SISTEM DUAL RESERVOIR**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

YOYOK DWI SETYO PAMBUDI

0806424794

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KONTROL INDUSTRI
UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2010**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang diikuti maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yoyok Dwi Setyo P

NPM : 0806424794

Tanda tangan :



Tanggal : 16 Desember 2010

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis dengan judul:

**PENERAPAN PENGENDALI PI DAN PREDIKTIF METODE
PROJECTED DESIRED TRAJECTORIES UNTUK PENGENDALI LEVEL
TERKOORDINASI PADA SISTEM DUAL RESERVOIR**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Kekhususan Teknik Kontrol Industri, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam presentasi tesis.

Depok, 16 Desember 2010

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Feri Yusivar, MEng.
NIP. 19671008 1994031 002

PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Yoyok Dwi Setyo Pambudi
NPM : 0806424794
Program Studi : Teknik Elektro
Kekhususan : Teknik Kontrol Industri
Judul Tesis :

Penerapan pengendali PI dan prediktif metode *projected desired trajectories* untuk pengendali level terkoordinasi pada sistem dual reservoir

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Kekhususan Teknik Kontrol Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

1. Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng
2. Ir. Aries Subiantoro, M.Sc.
3. Dr. Ir. Ridwan Gunawan, MT.
4. Dr. Abdul Halim, M. Eng.

Ditetapkan di : Depok.

Tanggal : 31 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia dan rahmat yang telah diberikan, karena hanya dengan petunjuk dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tesis ini. Penyusunan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari betapa besar dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Feri Yusivar, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran didalam mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Ibunda (Semarang dan Jogja) yang selalu mendoakan, Mama dan Nayo 'dumdum' tersayang yang selalu berdoa dan memberi semangat, serta pengertiannya selama ini karena banyak waktu tersita dalam penyelesaian tesis ini.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro FTUI, dan seluruh teman mahasiswa program Magister Elektro FTUI, khususnya Teknik Kontrol Industri .
4. Rekan-rekan kerja di Laboratorium Simulasi Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor BATAN

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Desember 2010

Penulis,

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoyok Dwi Setyo Pambudi
NPM : 0806424794
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Penerapan pengendali PI dan prediktif metode *projected desired trajectories* untuk pengendali level terkoordinasi pada sistem dual reservoir beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 31 Desember 2010
Yang menyatakan



Yoyok Dwi Setyo P

ABSTRAK

Nama : Yoyok Dwi Setyo Pambudi
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Judul : Penerapan pengendali PI dan prediktif metode *projected desired trajectories* untuk pengendali level terkoordinasi pada sistem dual reservoir

Telah dibuat sistem dual reservoir (Duess), sistem ini bertujuan untuk mempelajari proses siklus pendingin sekunder pada reaktor PWR. Pengendali yang digunakan adalah Proporsional Integral (PI) dengan pertimbangan bahwa kendali PI telah digunakan pada kendali steam generator PLTN sesungguhnya. Kemudian juga diterapkan pengendali prediktif berbasis model untuk membandingkan hasil kendali PI dan prediktif. Pada kendali PI untuk mendapatkan parameter K_c dan T_i digunakan *Ciancone correlation*. Sedang pada kendali prediktif digunakan konsep *projected desired trajectories* (PDT). Uji kendali yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengendalian SISO untuk hubungan tiap katup ke resevoir, pengendalian dua masukan dan dua keluaran, dan uji pengendalian terkoordinasi. Pengendalian tekoordinasi membuat skenario pengendalian level air seperti pada steam generator yaitu skenario pengendalian normal dan pengendalian saat terjadi kegagalan pada salah satu pompa. Hasil pengujian menunjukkan pengendali prediktif berbasis model yang diterapkan pada sistem dual reservoir mampu menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI.

Kata kunci : Dual Reservoir, PI, Prediktif, Kendali terkoordinasi

ABSTRACT

Name : Yoyok Dwi Setyo Pambudi
Study Program : Electrical Engineering
Tittle : Application of PI controller and projected desired trajectories predictive for level coordinated control of dual-reservoir system

Dual reservoir system (DURESS) has been developed, the system aims to study the process of secondary cooling cycles in PWR reactors. The controller used is Proportional Integral (PI) with the consideration that PI control has been used in actual control of the nuclear power plant steam generator. Then also applied the model-based predictive control to compare the results of PI control and input. In PI control, to obtain the parameters K_c and T_i are used Ciancone correlation. While predictive control uses the *projected desired trajectories* (PDT) concept. Control tests conducted in the study include SISO control for each valve to reservoir relationship, control of two inputs and two outputs, and coordinated control test. Coordinated Control created scenarios such as controlling water levels in steam generators of normal controls and control scenario during a failed pump. Test results show that model-based predictive control applied to the dual-reservoir system is able to produce better performance than PI controller.

Keywords: Dual Reservoir, PI, Predictive, Coordinated control

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	v
KATA PENGANTAR	vi
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II LANDASAN TEORI	3
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Kontrol Proportional Integral	3
2.3 Kontrol Prediktif metode <i>Projected Desired Trajectories</i>	7
BAB 3 RANCANGAN SISTEM	12
3.1 Perancangan Sistem	12
3.1.1 Alat Penelitian	12
3.1.2 Bahan Penelitian	12
3.1.3 Perangkat Lunak	12
3.2 Langkah Penelitian	13
3.3 Perakitan alat pada sistem Duress	13
3.4 Hasil Identifikasi Sistem	21

3.5 Perancangan Kontrol PI pada Sistem Duress	22
3.5.1 Menghitung fraksi dead time digital	24
3.5.2 Menghitung Kc dan Ti	25
3.6 Perancangan Kontrol Prediktif	26
3.6.1 Membuat parameter pengendali Prediktif	28
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL	30
4.1 Uji Kontrol PI untuk Kondisi Satu Masukan dan Satu Keluaran	30
4.1.1 Uji kontrol PI antara katup V1 dan reservoir A	30
4.1.2 Uji kontrol PI antara katup V2 dan reservoir A	35
4.1.3 Uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B	37
4.1.4 Uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B	40
4.2 Uji Kontrol PI untuk Kondisi Dua Masukan dan Dua Keluaran	42
4.2.1 Skenario Kendali PI untuk kondisi Normal	42
4.2.2 Skenario Kendali PI untuk kondisi Tidak Normal	43
4.3 Uji Kontrol Prediktif untuk Satu Masukan dan Satu Keluaran	44
4.4 Uji Kontrol Prediktif untuk Dua Masukan dan Dua Keluaran	46
4.4.1 Skenario Kendali Prediktif untuk kondisi Normal	46
4.4.2 Skenario Kendali Prediktif untuk kondisi Tidak Normal	47
BAB 5 KESIMPULAN	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Identifikasi sistem dengan metode kurva reaksi proses	4
Gambar 2.2.	Skema kontrol PI	5
Gambar 2.3a.	Grafik korelasi antara Kc terhadap Fraksi waktu tunda	7
Gambar 2.3b.	Grafik korelasi antara Ti terhadap Fraksi waktu tunda	7
Gambar 2.4.	Skema dasar sistem kontrol prediktif	8
Gambar 2.5.	Penggunaan konsep <i>PDT</i> pada penentuan lintasan prediktif	9
Gambar 2.6.	Horison prediktif dari konsep pengembangan kontrol prediktif	10
Gambar 3.1.	Foto instalasi DURESS di PTRKN BATAN Serpong	14
Gambar 3.2.	Skema sistem reservoir ganda	14
Gambar 3.3.	Diagram blok sistem DURESS	15
Gambar 3.4.	Skema 2 dimensi dari reservoir	16
Gambar 3.5.	Sensor jarak Sharp GP2D12 dan pemasangannya	16
Gambar 3.6.	Katup proporsional beserta driver dan stepper motornya.	17
Gambar 3.7a.	Hubungan antara posisi katup dengan debit air yang dilewatkan	18
Gambar 3.7b.	Hasil uji kalibrasi aktuator katup PV14B	18
Gambar 3.8.	Pompa air bermerk LAKONI	19
Gambar 3.9.	Perangkat keras NI-USB 6229	19
Gambar 3.10.	Terminal pinout NI-USB 6229	20
Gambar 3.11.	Rangkaian buffer	20
Gambar 3.12.	Respon undak kalang terbuka hubungan tiap katup ke reservoir	21
Gambar 3.13.	Blok diagram kontrol PI	23
Gambar 3.14.	Diagram alir kontrol PI; (a) satu masukan satu keluaran dan (b) banyak masukan banyak keluaran	24
Gambar 3.15.	Blok diagram kontrol prediktif	27
Gambar 3.16.	Diagram alir kontrol prediktif; (a) satu masukan satu keluaran dan (b) banyak masukan banyak keluaran	27
Gambar 4.1.	Diagram koneksi uji kontrol PI antara katup V1 dan reservoir A	31
Gambar 4.2.	Hasil uji kontrol PI antara katup V1 dan Reservoir A	32
Gambar 4.3.	Hasil uji kontrol PI khusus data level air V1 reservoir A	32
Gambar 4.4.	Hasil uji kontrol PI antara V1 reservoir A untuk $K_c=0,1$	33

Gambar 4.5.	Hasil uji kontrol PI antara katup V1 Reservoir A ($K_c=2$)	34
Gambar 4.6.	Hasil uji kontrol PI antara katup V1 Reservoir A ($K_c=5$)	34
Gambar 4.7.	Diagram koneksi uji kontrol PI antara katup V2 Reservoir A	35
Gambar 4.8.	Hasil uji kontrol PI antara katup V2 dan reservoir A	36
Gambar 4.9.	Hasil uji PI khusus data level air V2 reservoir A ($K_c=0.429$)	36
Gambar 4.10.	Hasil uji kontrol PI katup V2 dan Reservoir A untuk $K_c=2$	37
Gambar 4.11.	Hasil uji kontrol PI katup V2 dan Reservoir A untuk $K_c=5$	37
Gambar 4.12.	Hasil uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B	38
Gambar 4.13.	Hasil uji PI khusus data level air V3 reservoir B ($K_c=0.357$)	39
Gambar 4.14.	Hasil uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B ($K_c=5$)	39
Gambar 4.15.	Hasil uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B	40
Gambar 4.16.	Hasil uji PI khusus data level air V4 reservoir B ($K_c=0.349$)	41
Gambar 4.17.	Hasil uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B ($K_c=5$)	41
Gambar 4.18.	Hasil uji kontrol PI kondisi normal (2 masukan 2 keluaran)	42
Gambar 4.19.	Hasil uji kontrol PI untuk kondisi terjadi gagal pompa Y	43
Gambar 4.20.	Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V1 dan reservoir A	44
Gambar 4.21.	Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V2 dan reservoir A	45
Gambar 4.22.	Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V3 dan reservoir B	45
Gambar 4.23.	Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V4 dan reservoir B	46
Gambar 4.24.	Hasil uji kontrol prediktif untuk kondisi normal	47
Gambar 4.25.	Hasil uji kontrol Prediktif untuk kondisi terjadi gagal pompa Y	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam usaha untuk mendukung keamanan ketersediaan energi 2025, maka pemerintah membuat kebijakan untuk melaksanakan penelitian dan pengembangan PLTN[1]. Untuk mendukung penguasaan teknologi PLTN di Indonesia maka perlu dilakukan penelitian terhadap teknologi PLTN terutama terhadap tipe PLTN yang akan dibangun di Indonesia seperti PWR. Mengingat bahwa untuk melakukan penelitian secara langsung di PLTN tidak dimungkinkan, maka di Laboratorium Simulasi dan Sistem Keselamatan Nuklir PTRKN-BATAN dibuat sistem reservoir ganda (*Dual Reservoir/DURESS*). Sistem DURESS menyediakan pompa, tangki, dan jalur-jalur pemipaan yang saling berkaitan yang dapat digunakan untuk mempelajari siklus pendingin sekunder PLTN tipe PWR.

Tahap pertama penelitian adalah dilakukan perakitan, pengujian, penyusunan fungsi alih dan identifikasi sistem DURESS, tahap ini telah dilakukan pada penelitian seminar. Tahap kedua yaitu menggunakan data-data pada tahap pertama untuk diterapkan pada dalam membuat sistem pengendalian pada DURESS sekaligus mempelajari redundansi pada *steam generator*.

Untuk akuisisi data dan penerapan kendali pada sistem digunakan perangkat lunak Labview dan perangkat keras *National Instrument*. Labview menyediakan fitur-fitur yang cukup lengkap, mudah dan kompatibel dengan berbagai perangkat keras antarmuka. Pemanfaatan blok *script node* pada labview cukup praktis untuk menangani kerumitan dan kompleksnya desain untuk monitoring dan pengendalian DURESS. Blok *script node* bisa diisi dengan bahasa pemrograman dan menyediakan kanal input dan output dengan jumlah tak terbatas. Jika hanya menggunakan wiring diagram, maka akan sangat rumit dan memakan tempat dikarenakan parameter dan operasi matematis yang dimonitoring atau dikontrol cukup banyak.

Uji kendali yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengendalian SISO untuk hubungan tiap katup ke reservoir, pengendalian dua masukan dan dua keluaran, dan uji kendali terkoordinasi. Pengendalian terkoordinasi membuat

skenario pengendalian level air seperti pada steam generator. Pada awalnya diskenariokan pengendalian normal dilanjutkan uji pengendalian saat terjadi gagal pompa. Pengendalian normal adalah pengendalian level dimana kedua pompa dapat menyuplai kedua tangki lewat jalur utama. Sedang uji kendali gagal pompa diskenariokan bahwa terjadi kegagalan pada salah satu pompa, sehingga pompa lain harus menggantikan kerjanya untuk menyuplai kedua tangki.

Algoritma kendali pada penelitian ini adalah *Proportional Integral*(PI) dengan pertimbangan bahwa kendali PI telah digunakan pada kendali *steam generator* PLTN sesungguhnya. Kemudian juga diterapkan pengendali prediktif metode *projected desired trajectories* untuk dibandingkan hasilnya dengan kendali PI .

1.2 Tujuan Penulisan

Pembahasan dalam penelitian tesis ini adalah mengimplementasikan sistem kontrol PI dan prediktif secara riil dan melakukan uji gagal pompa pada sistem dual reservoir.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian tesis dibatasi pada perancangan dan implementasi sistem kontrol PI dan prediktif untuk mengendalikan level air pada sistem dual reservoir.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tesis ini dibagi ke dalam lima bab yang akan menjelaskan secara bertahap mengenai keseluruhan isi tesis ini. Bab satu merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab dua membahas dasar teori yaitu perancangan kontrol PI menggunakan *ciancone correlations*, dan kontrol prediktif metode *projected desired trajectories*. Bab tiga membahas perancangan kontrol terkoordinasi pada dual reservoir, perancangan kontrol PI, dan perancangan kontrol prediktif. Bab empat berisi hasil dan pembahasan. Bab lima merupakan kesimpulan dari keseluruhan pembahasan dalam laporan tesis ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

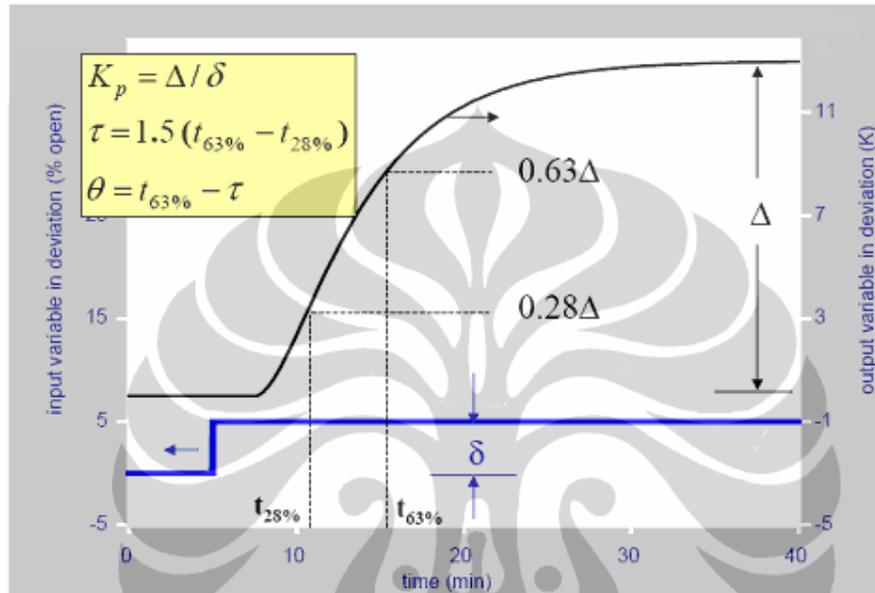
Dalam operasi PLTN level air di steam generator harus dipertahankan untuk meyakinkan bahwa produksi uap berlangsung baik dan selamat. Jika level air terlalu rendah juga akan maka pipa penukar panas tidak terendam air, mengakibatkan panas dari bagian primer tidak berpindah sempurna ke bagian sekunder sehingga bagian primer akan kelebihan panas sehingga mengakibatkan reaktor *trip*(padam). Sedangkan jika level air terlalu tinggi maka akan menyebabkan berlebihnya campuran air uap yang terbawa sehingga dapat merusak turbin[2]. Level air pada dari steam generator di kendalikan oleh pengaturan katup air umpan pada pipa utama.

Sampai saat ini kendali PI masih cukup banyak di gunakan pada pengendalian steam generator di PLTN, dikarenakan kemudahan dan kesederhanaannya. Dengan perkembangan penggunaan komputer berkemampuan lebih cepat, dapat diterapkan beberapa kendali modern seperti MPC, *robust control* dan *intelligent control*[2].

Penggunaan kontrol prediktif berbasis model (*model predictive control/MPC*) cukup efektif untuk mengontrol level air di pembangkit uap pipa-U (*U-tube steam generator*) yang memiliki permasalahan khusus berupa fase non minimum[3]. Kontrol prediktif tersebut mampu mengikuti jalur perubahan setpoint dari level air, akan tetapi memiliki sensitivitas lebih kuat terhadap derau pengukuran.

Model matematis fungsi alih sistem bisa didapatkan dengan penurunan rumus matematika atau dengan *empirical identification*. Metode identifikasi empirik yang digunakan adalah metode kurva reaksi proses[2]. Dalam penelitian seminar telah dilakukan pembuatan fungsi alih dengan penurunan rumus matematika dan eksperimen, sedang untuk implementasi riil sistem kontrol pada penelitian tesis ini digunakan fungsi alih yang didapat dari identifikasi empirik metode kurva reaksi proses.

Metode kurva reaksi proses didapatkan dengan cara memberikan fungsi *step* ke dalam sistem pada kondisi operasi normal. Respons dinamik dari proses ini kemudian digunakan untuk mendapatkan model sistem yang berupa model orde satu ditambah delay. Gambar 2.1 menunjukkan identifikasi sistem dengan metode kurva reaksi proses.



Gambar 2.1. Identifikasi sistem dengan metode kurva reaksi proses.

Data parameter yang di dapat dari grafik tersebut adalah:

- Magnitude dari perubahan input (δ)
- Magnitude dari perubahan steady state output (Δ)
- Waktu dimana sinyal output mencapai 28 % dan 63 % dari kondisi steady state akhir.

Fungsi alih sistem didapatkan sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = e^{-\theta s} \left[\frac{K_p}{\tau s + 1} \right] \quad (2.1)$$

Dengan: $X(s)$ = input proses

$Y(s)$ = output proses

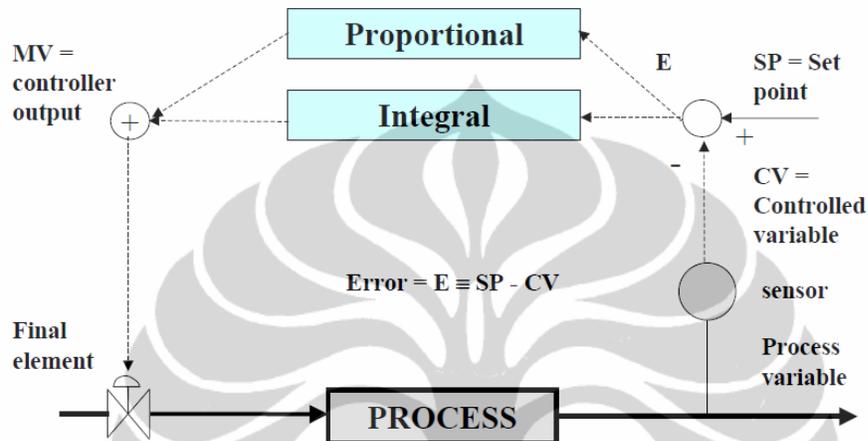
K_p = Gain dari obyek.

τ = konstanta waktu (*time constant*)

θ = waktu tunda (*delay time* atau *dead time*)

2.2 Kontrol Proportional Integral

Kontrol PI/PID merupakan kendali yang banyak digunakan dalam industri sejak lama. Kontrol PI cukup mudah dan sederhana di aplikasikan untuk mengendalikan suatu proses [4]. Kontrol PI merupakan kontrol yang terdiri dari bagian proporsional dan integral. Skema kontrol PI ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema kontrol PI

Sinyal aktuasi yang dihasilkan oleh kontrol PI merupakan akumulasi dari sinyal aktuasi keluaran proporsional dan keluaran bagian integral. Persamaan matematis kontrol PI ditunjukkan pada persamaan 2.2[4].

$$MV = K_c \left[E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^{\infty} E(t) dt \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

MV = Sinyal aktuasi keluaran kontrol PI (*Manipulated Variabel*).

K_c = Gain kontrol.

$E(t)$ = Galat (*Error*).

T_i = Konstanta waktu integral.

Kontrol PI digital memiliki persamaan yang hampir sama dengan kontrol PI kontinyu, hanya perbedaan terletak pada persamaan integral yang berubah menjadi persamaan kumulatif (sum) dan adanya faktor periode pencuplikan. Persamaan kontrol PI digital ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$MV_N = K_c \left[E_N + \frac{\Delta t}{T_i} \sum_{i=1}^N E_i \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

Δt = Periode pencuplikan

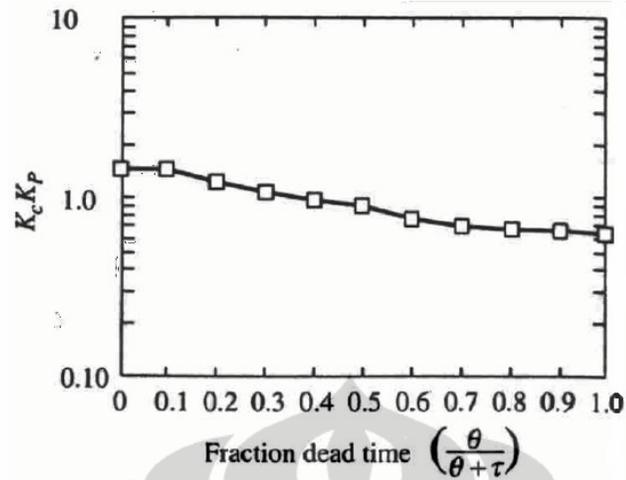
Perhitungan parameter-parameter kontrol PI dilakukan dengan *ciancone correlation* yaitu menggunakan tabel Ciancone (Gambar 2.3a dan 2.3b) untuk menentukan nilai – nilai K_c , dan T_i [4] . Untuk mendapatkan parameter K_c , T_i terlebih dahulu dihitung K_p , waktu tunda kontinu θ dan time constant τ dari model fungsi alih. Parameter yang mengalami koreksi ketika kontrol berbentuk digital adalah nilai waktu tunda. Waktu tunda untuk proses kontinu hasil identifikasi dengan metode kurva reaksi proses akan mendapatkan pengaruh adanya waktu periode pencuplikan dalam kontrol digital. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara waktu tunda kontinu dan waktu tunda digital ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$\theta' = \theta + \frac{\Delta t}{2} \quad (2.4)$$

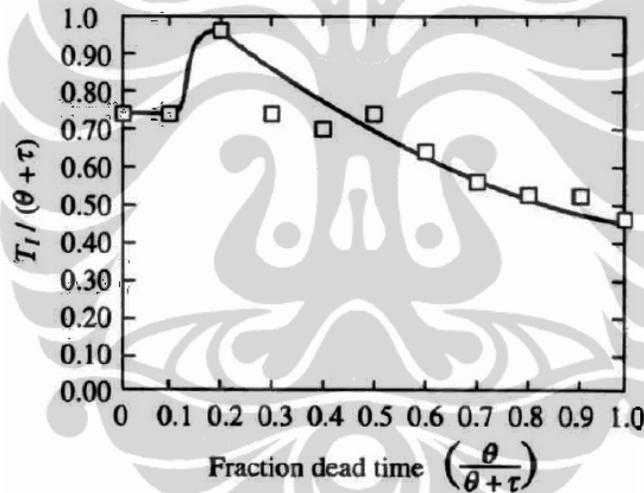
Sedang fraksi waktu tunda digital didapatkan dengan persamaan 2.5

$$\text{fraksi waktu tunda} = \left(\frac{\theta'}{\theta' + \tau} \right) \quad (2.5)$$

Grafik Ciancone yang digunakan adalah untuk perancangan PI berdasarkan *set-point change* yang ditunjukkan pada gambar 2.3a dan 2.3b.



Gambar 2.3a. Grafik korelasi antara K_c terhadap Fraksi waktu tunda (*dead time*)



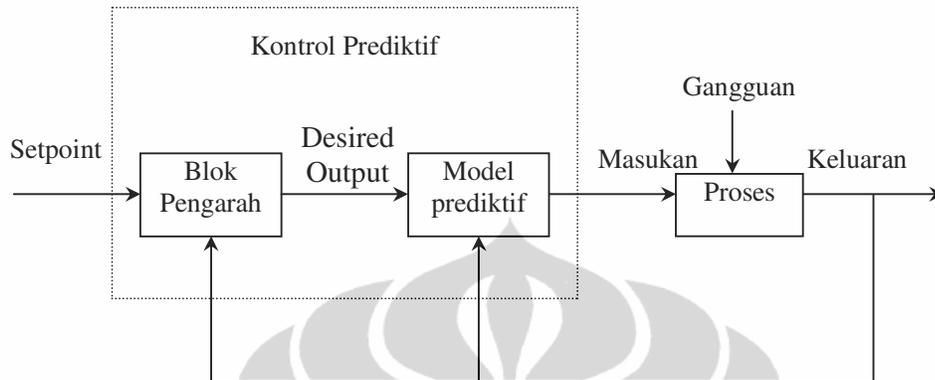
Gambar 2.3b. Grafik korelasi antara T_i terhadap Fraksi waktu tunda (*dead time*)

Parameter K_c dan T_i yang telah diperoleh nantinya dimasukkan dalam persamaan 2.1 untuk diimplementasikan dalam bentuk bahasa pemrograman pada desain di perangkat lunak LabView.

2.3 Kontrol Prediktif metode *Projected Desired Trajectories*

Sistem kontrol prediktif merupakan sistem kontrol yang menggunakan metode pengontrolan terkembang (*advanced control methodology*). Pemanfaatan sistem kontrol ini mulai berkembang pesat sejak munculnya teknologi komputer

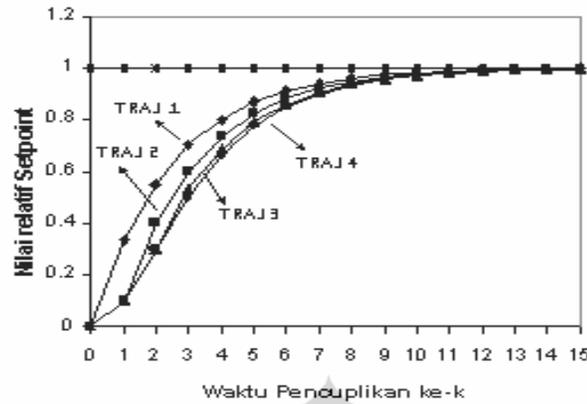
digital. Keterbatasan sistem kontrol konvensional seperti halnya kontrol PID mendorong majunya perkembangan teori kontrol yang lebih modern dan kompleks. Skema dasar sistem kontrol prediktif ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema dasar sistem kontrol prediktif [5]

Strategi kerja sistem kontrol prediktif terletak pada blok pengarah dan blok model prediktif. Blok pengarah berfungsi untuk mengatur nilai keluaran bersifat prediktif yang diinginkan sesuai dengan mekanisme pada blok model prediktif. Model prediktif akan membangkitkan sinyal kontrol yang akan menjadi masukan proses. Sinyal kontrol yang dikeluarkan oleh model prediktif berdasarkan pemodelan yang telah ditetapkan pada blok tersebut.

Penentuan lintasan prediktif pada dasarnya menggunakan konsep pengaturan lintasan yang diinginkan (*driving desired trajectory /DDT*). *DDT* akan membangkitkan nilai-nilai setiap titik dan nilai-nilai tersebut akan digunakan model prediktif untuk menghitung sinyal kontrol. Pengembangan konsep *DDT* memunculkan konsep *projected desired trajectories (PDT)*. Konsep *PDT* berfungsi untuk menjamin agar konsep *DDT* dapat bekerja dengan baik pada kondisi sinyal kontrol yang terbatas. *PDT* akan mengatur lintasan yang baru jika keluaran proses tidak sama dengan keluaran prediktif yang diinginkan. Penggunaan konsep *PDT* dalam sebuah aplikasi konsep *DDT* ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Penggunaan konsep *PDT* pada penentuan lintasan prediktif

Kontrol prediktif bekerja berdasarkan parameter kondisi masukan dan keluaran proses pada waktu sebelumnya untuk menghitung nilai masukan yang harus diberikan agar keluaran proses yang akan datang sama dengan keluaran prediktif yang diinginkan. Persamaan matematis yang menunjukkan konsep prediktif adalah sebagai berikut[5] :

$$\hat{y}(k+1) = \sum_{i=1}^n a_i y(k+1-i) + \sum_{j=1}^m b_j u(k+1-j) + \sum_{h=1}^p c_h w(k+1-h) \quad (2.6)$$

di mana $\hat{y}(k+1)$ = keluaran prediksi proses pada waktu pencuplikan ke-(k+1)

$y(k)$ = keluaran sistem pada waktu pencuplikan ke-k

$u(k)$ = masukan sistem pada waktu pencuplikan ke-k

$w(k)$ = gangguan pada waktu pencuplikan ke-k

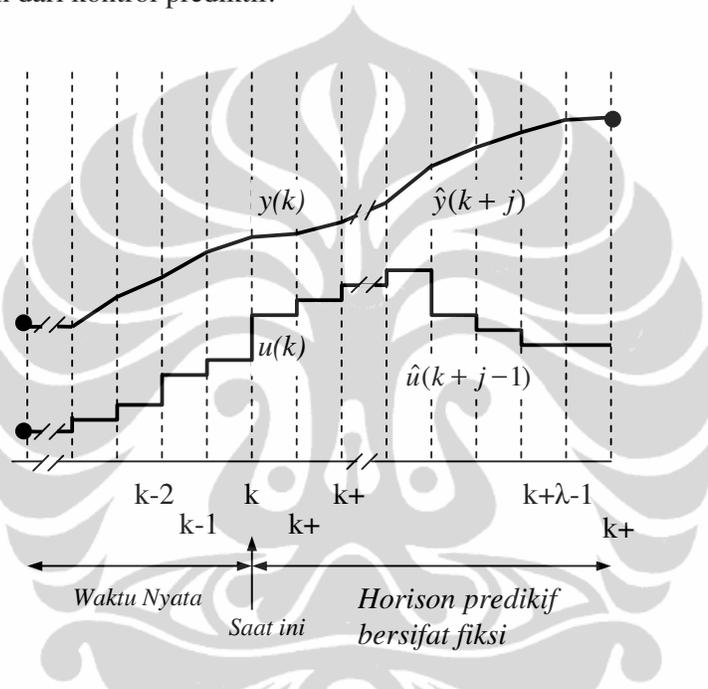
a, b, c = koefisien dari masing-masing variabel

Persamaan 2.4 digunakan untuk menentukan nilai masukan sistem pada waktu pencuplikan ke-k, sehingga rumus tersebut diubah ke dalam bentuk sebagai berikut :

$$u(k) = \frac{\hat{y}(k+1) - \sum_{i=1}^n a_i y(k+1-i) - \sum_{j=2}^m b_j u(k+1-j) - \sum_{h=1}^p c_h w(k+1-h)}{b_1} \quad (2.7)$$

Nilai $u(k)$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 dengan menentukan nilai $\hat{y}(k+1)$ terlebih dahulu. Nilai $\hat{y}(k+1)$ sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, bergantung kepada mekanisme lintasan prediktif yang ditentukan baik menggunakan konsep *DDT* maupun *PDT*.

Konsep pengembangan kontrol prediktif berdasar pada prediksi di waktu mendatang dengan masukan-masukan yang akan diberikan untuk waktu yang akan datang tersebut. Keluaran proses pada waktu yang akan datang untuk batas waktu tertentu sebesar λ , yang diberi notasi $\hat{y}(k+j|k)$ dapat diprediksi sebagai fungsi dari nilai-nilai kontrol yang berurutan $\hat{u}(k+j-1|k)$ dimana $j = 1, 2, \dots, \lambda$ berdasarkan model prediktif yang digunakan. Gambar 2.6. menunjukkan konsep pengembangan dari kontrol prediktif.



Gambar 2.6. Horison prediktif dari konsep pengembangan kontrol prediktif

Persamaan yang diperoleh berdasarkan konsep pengembangan yang telah dijelaskan sebelumnya dan yang ditunjukkan pada gambar 2.4 adalah sebagai berikut :

$$\hat{y}(k+j|k) = \sum_{i=1}^{\hat{n}} \hat{a}_i \hat{y}(k+j-i|k) + \sum_{i=1}^{\hat{m}} \hat{b}_i \hat{u}(k+j-i|k) \quad (2.8)$$

$$(j = 1, 2, \dots, \lambda)$$

Persamaan 2.8 dapat diubah dalam persamaan matrik dengan diasumsikan untuk sistem orde satu bentuk sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} y(k+1) \\ y(k+2) \\ * \\ * \\ * \\ * \\ y(k+\lambda) \end{bmatrix} = a \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ * \\ * \\ * \\ * \\ y(k+\lambda-1) \end{bmatrix} + b \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ * \\ * \\ * \\ * \\ u(k+\lambda-1) \end{bmatrix}$$

Perhitungan horison prediktif untuk interval $[k, k+\lambda]$ dilakukan berdasarkan persamaan model prediktif yang dilakukan secara rekursi yang dimulai dari kondisi awal. Persamaan horison prediktif dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\hat{y}(k+j|k) = \hat{e}^{(j)}y(k) + h^{(j)}u(k) \quad (2.9)$$

$$(j = 1, 2, \dots, \lambda)$$

Di mana $\hat{e}_i^{(j)}$ dan $h_i^{(j)}$ adalah koefisien yang dapat dicari berdasarkan nilai parameter model prediktif \hat{a}_i dan \hat{b}_i dan asumsi bahwa nilai $u(k) = u(k+1) = \dots = u(k+\lambda-1)$ yang dihitung dengan menggunakan algoritma rekursi sebagai berikut :

$$\hat{e}^{(j)} = \hat{e}^{(j-1)}\hat{a} \quad j = 2, \dots, \lambda$$

$$\hat{g}^{(j)} = \hat{e}^{(j-1)}\hat{b} \quad j = 2, \dots, \lambda \quad (2.10)$$

dengan persyaratan sebagai berikut :

$$\hat{e}^{(1)} = \hat{a}$$

$$\hat{g}^{(1)} = \hat{b}$$

$$h(\lambda) = g_1^\lambda + g_1^{\lambda-1} + \dots + g_1^1 \quad (2.11)$$

Persamaan 2.9 memberikan informasi bahwa keluaran yang diprediksikan untuk setiap waktu pencuplikan $k + j$ merupakan fungsi dari masukan dan keluaran proses pada waktu pencuplikan sekarang k , dengan berdasarkan masukan kontrol $\hat{u}(k)$. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai sinyal kontrol yang harus diberikan adalah sebagai berikut :

$$\hat{u}(k) = \frac{\hat{y}(k+\lambda) - \hat{e}^{(\lambda)}y(k)}{h^{(\lambda)}} \quad (2.12)$$

Persamaan-persamaan di atas akan digunakan dalam menghitung parameter-parameter kontrol prediktif dalam penelitian ini.

BAB 3

RANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi pemasangan sensor, actuator, pembuatan buffer, dan power supply. Kemudian dilanjutkan pengujian meliputi kalibrasi sensor serta uji pengisian. Dikarenakan tidak adanya sensor flowmeter maka pembacaan data debit masukan dilakukan dengan cara tidak langsung yaitu dengan menghitung kenaikan volume tangki terhadap waktu.

3.1.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Personal Computer.
- b. Perangkat keras antarmuka NI-USB 6229.
- c. Instalasi sistem reservoir ganda (termasuk aktuator katup dan sensor).
- d. Printer.
- e. Penggaris standar 50 cm.
- f. Power Supply
- g. Alat bantu seperti multimeter, osciloskop, mesin bor, gergaji, dll.

3.1.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat tulis, selang air, resistor 10K, IC LM741, kabel-kabel coaxial, kabel warna, rakudukan sensor, selang air dan lainnya, kertas mika dan gabus.

3.1.3 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah lunak LabView, perangkat lunak Matlab, dan Excell. Labview digunakan untuk membuat program monitoring dan implementasi algoritma kendali kedalam sistem Duress.

3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tesis adalah:

- a. Perakitan alat dan kalibrasi sensor dan aktuator pada pada sistem Duress.
- b. Identifikasi sistem Duress.
- c. Perancangan kontrol PI pada sistem Duress.
- d. Perancangan kontrol prediktif pada sistem Duress.
- e. Implementasi kontrol PI dan prediktif pada sistem Duress.
- f. Pengujian dan analisa hasil.

3.3 Perakitan alat pada sistem Duress

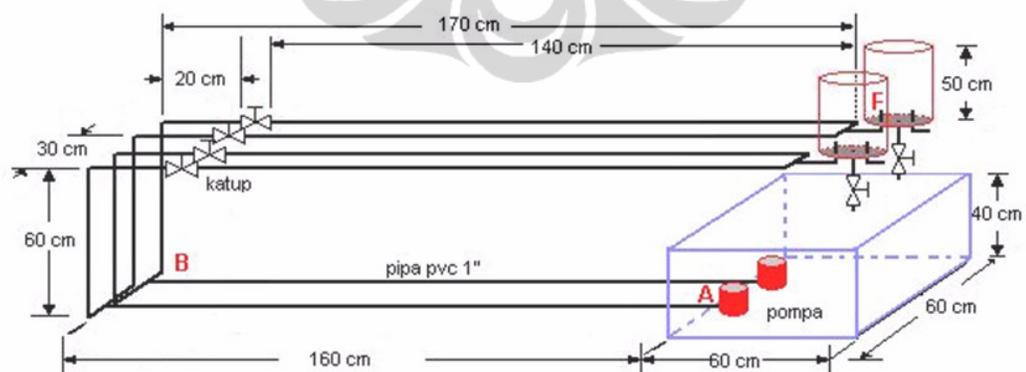
Penelitian tesis ini menggunakan obyek berupa instalasi sistem reservoir ganda. Instalasi tersebut berada di laboratorium simulasi dan sistem keselamatan nuklir dibawah koordinasi bidang pengembangan teknologi keselamatan nuklir unit PTRKN BATAN Serpong. Foto instalasi *dual reservoir* ditunjukkan pada gambar 3.1. Sistem ini memiliki satu tangki bawah, dua reservoir, dua pompa randam, empat katup proporsional serta jalur pemipaan mulai dari keluaran pompa air kemudian melewati katup proporsional sampai kepada masukan reservoir. Skema sistem reservoir ganda yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.2.

Instalasi pemipaan merupakan faktor yang sangat penting dalam sistem reservoir ganda ini. Jalur pemipaan yang terintegrasi dengan posisi katup yang ditata seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 bertujuan agar setiap pompa dapat memberikan kontribusi dalam menyediakan air ke seluruh reservoir. Hal ini untuk menguji kontrol level air kedua reservoir dengan satu pompa saja untuk menyuplai airnya.

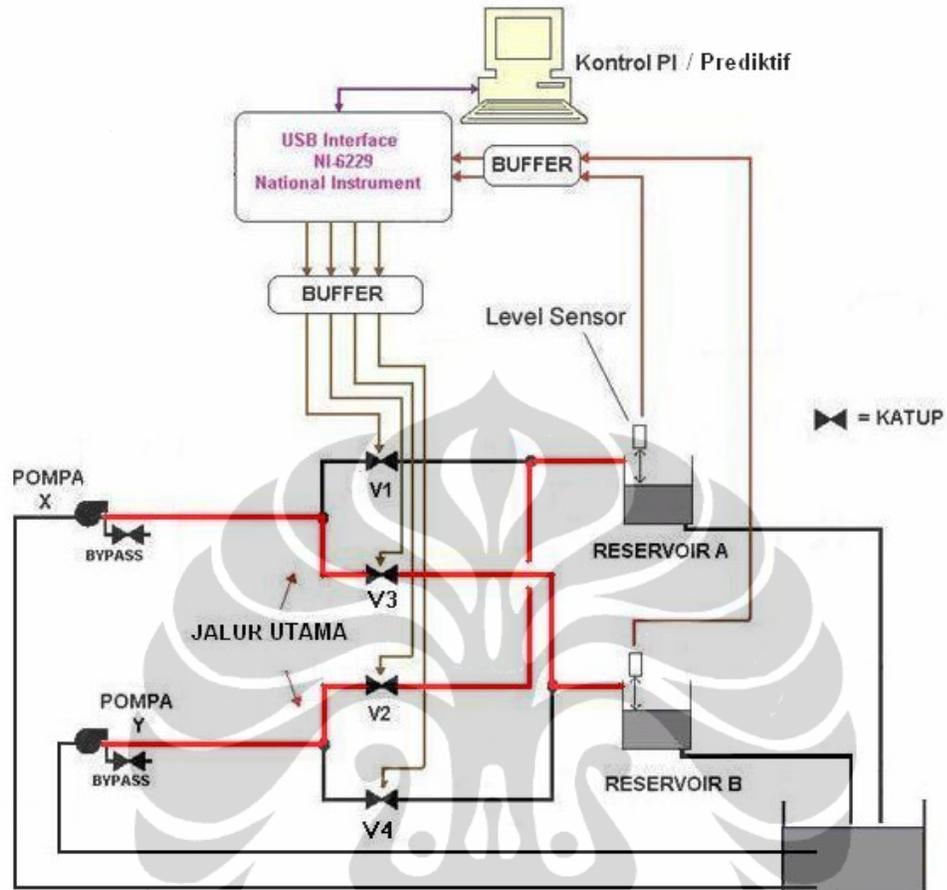


Gambar 3.1 Foto instalasi DURESS di laboratorium simulasi dan sistem keselamatan nuklir PTRKN BATAN Serpong.

Reservoir yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tiga jalur pemipaan, yang terdiri dari satu jalur masukan yang terhubung dengan pipa dari katup, satu jalur keluaran yang diberi kran untuk keperluan pengurasan air di reservoir secara manual dan satu jalur keluaran yang terbuka tanpa ada penghalang. Jalur keluaran terbuka bertujuan sebagai model sederhana dari keluaran steam generator berupa uap. Gambar 3.3 menunjukkan diagram blok sistem DURESS. Skema dua dimensi reservoir/tangki ditunjukkan gambar 3.4.

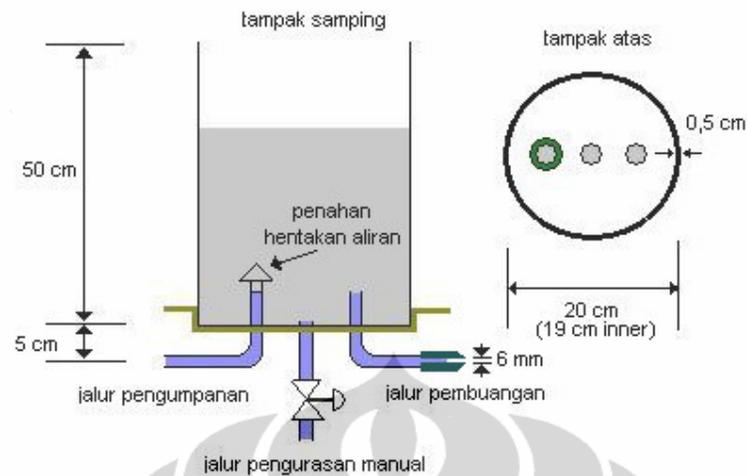


Gambar 3.2 Skema sistem reservoir ganda



Gambar 3.3. Diagram blok sistem DURESS

Sensor yang digunakan untuk mengukur ketinggian level air pada penelitian ini menggunakan sensor jarak SR-GP2D12 buatan Sharp. Sensor ini menggunakan medium optikal untuk mengukur jarak. Transmitter dan receiver pada sensor jarak ini terpasang secara terintegrasi dengan rangkaian elektronik dan casingnya. Jalur sinyal pada sensor jarak ini ada tiga yang terdiri dari jalur masukan power supply 5V, ground dan sinyal keluaran yang menginterpretasikan jarak obyek yang diukur. Sensor jarak SR-GP2D12 dan pemasangannya ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.4. Skema 2 dimensi dari reservoir

Sensor jarak SR-GP2D12 bekerja dengan baik dan sensitif terhadap obyek benda yang berwarna cerah maupun agak gelap. Hal ini menjadi alasan dasar digunakannya kertas mika tahan air yang berwarna putih mengkilap sebagai obyek yang akan diukur jaraknya oleh sensor jarak. Kertas mika tersebut dilapisi *sponge* tipis di bagian bawah agar dapat mengapung di atas permukaan air pada reservoir.



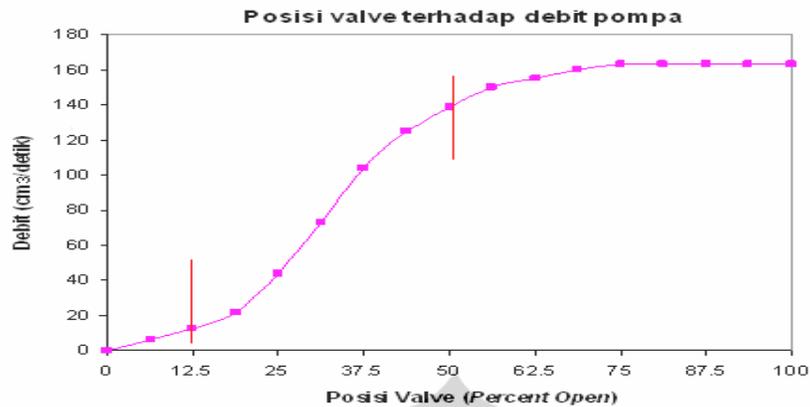
Gambar 3.5. Sensor jarak SR-GP2D12 dan pemasangannya

Aktuator yang digunakan dalam penelitian ini adalah katup proporsional PV14B. Aktuator ini berupa katup yang digerakkan oleh stepper motor. Aktuator ini memiliki 6 jalur yang terdiri dari satu ground sinyal, satu jalur untuk full open, satu jalur keluaran 5V standar dari driver stepper motor, satu jalur sinyal masukan, satu jalur power supply dan satu jalur ground power supply. Katup proporsional PV14B beserta driver dan stepper motornya ditunjukkan pada gambar 3.6.

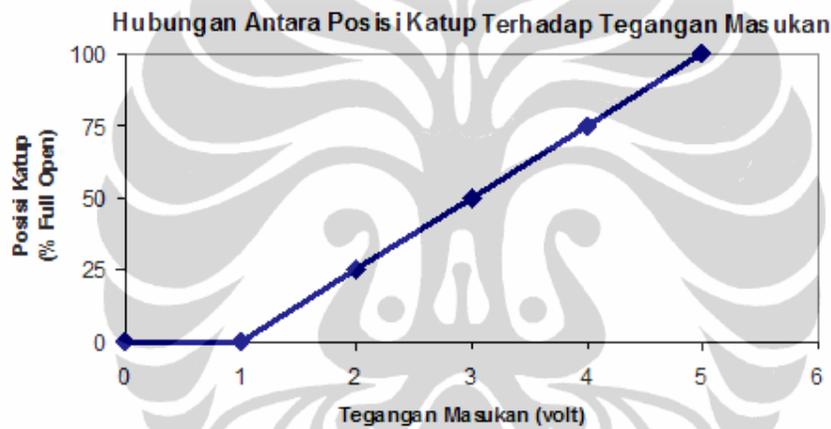


Gambar 3.6. Katup proporsional beserta driver dan stepper motornya.

Sinyal masukan yang berupa tegangan akan menggerakkan posisi katup. Driver stepper motor memiliki komparator yang berfungsi untuk mengkomparasi antara sinyal tegangan masukan dengan posisi katup. Hal ini menjadikan sinyal masukan berpengaruh pada posisi katup. Sinyal masukan yang diterima oleh driver stepper motor memiliki rentang antara 0 volt untuk kondisi full close sampai 5 volt untuk kondisi full open.



Gambar 3.7a. Hubungan antara posisi katup dengan debit air (seminar)



Gambar 3.7b. Hasil uji kalibrasi aktuator katup PV14B (seminar)

Gambar 3.7a merupakan hasil penelitian seminar untuk mencari debit air terhadap posisi katup. Gambar menunjukkan kenaikan debit secara proporsional untuk rentang posisi katup antara 12,5% sampai 50% dan relatif hampir sama untuk posisi diatas 50% sampai *full open*. Grafik hubungan antara persentase bukaan posisi katup dengan tegangan masukan ditunjukkan gambar 3.7b.

Pompa air yang digunakan untuk memompa air dalam penelitian ini bermerk LAKONI. Pompa air tersebut merupakan pompa yang direndam dalam air. Keluaran pompa air dihubungkan dengan katup pembuang tekanan untuk menghindari kerusakan pompa. Pompa air LAKONI ditunjukkan pada gambar 3.8. Pompa ini memiliki kapasitas maksimum 2 liter/detik, daya 100 Watt dan total head 5 meter.



Gambar 3.8. Pompa air bermerk LAKONI

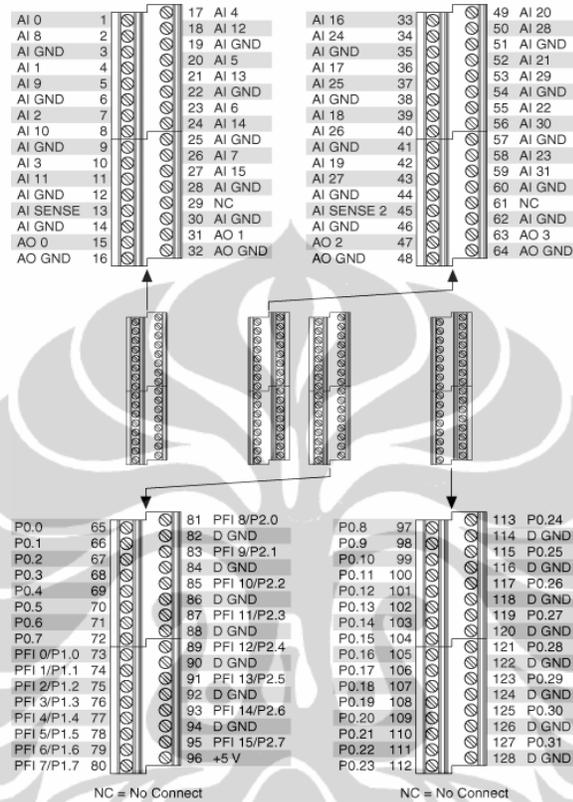
Perangkat keras antaramuka yang digunakan dalam penelitian ini adalah NI-USB 6229 buatan National Instruments. Perangkat keras NI-USB 6229 ditunjukkan pada gambar 3.9. Perangkat keras ini terhubung dengan PC melalui jalur USB. Driver khusus diperlukan agar perangkat keras NI-USB 6229 ini dapat terintegrasi pada perangkat lunak LabView. Perangkat keras ini memiliki kapasitas 31 masukan analog (dapat di set menjadi 80 masukan analog), 4 keluaran analog dan 48 TTL/CMOS digital I/O.



Gambar 3.9. Perangkat keras NI-USB 6229

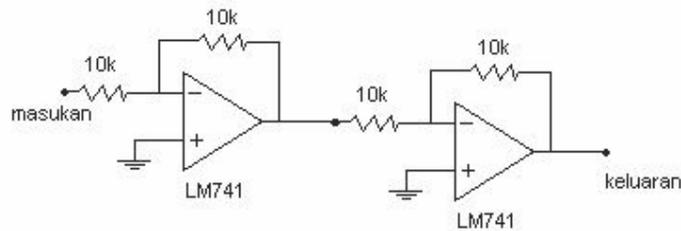
Terminal *pinout* perangkat keras NI-USB 6229 ditunjukkan pada gambar 3.10. Port-port yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah port AI0 dan AI1 (port no 1 dan 4) untuk masukan analog yang terhubung dengan keluaran sensor, port P0.0 dan P0.1 (port no 65 dan 66) untuk masukan digital yang terhubung dengan keluaran adaptor yang terpasang secara paralel dengan pompa air serta

port AO0, AO1, AO2 dan AO3 (port no 15, 31, 47 dan 63) untuk keluaran analog yang terhubung dengan jalur masukan aktuator katup yang berjumlah 4 (katup V1, V2, V3 dan V4).



Gambar 3.10. Terminal pinout NI-USB 6229

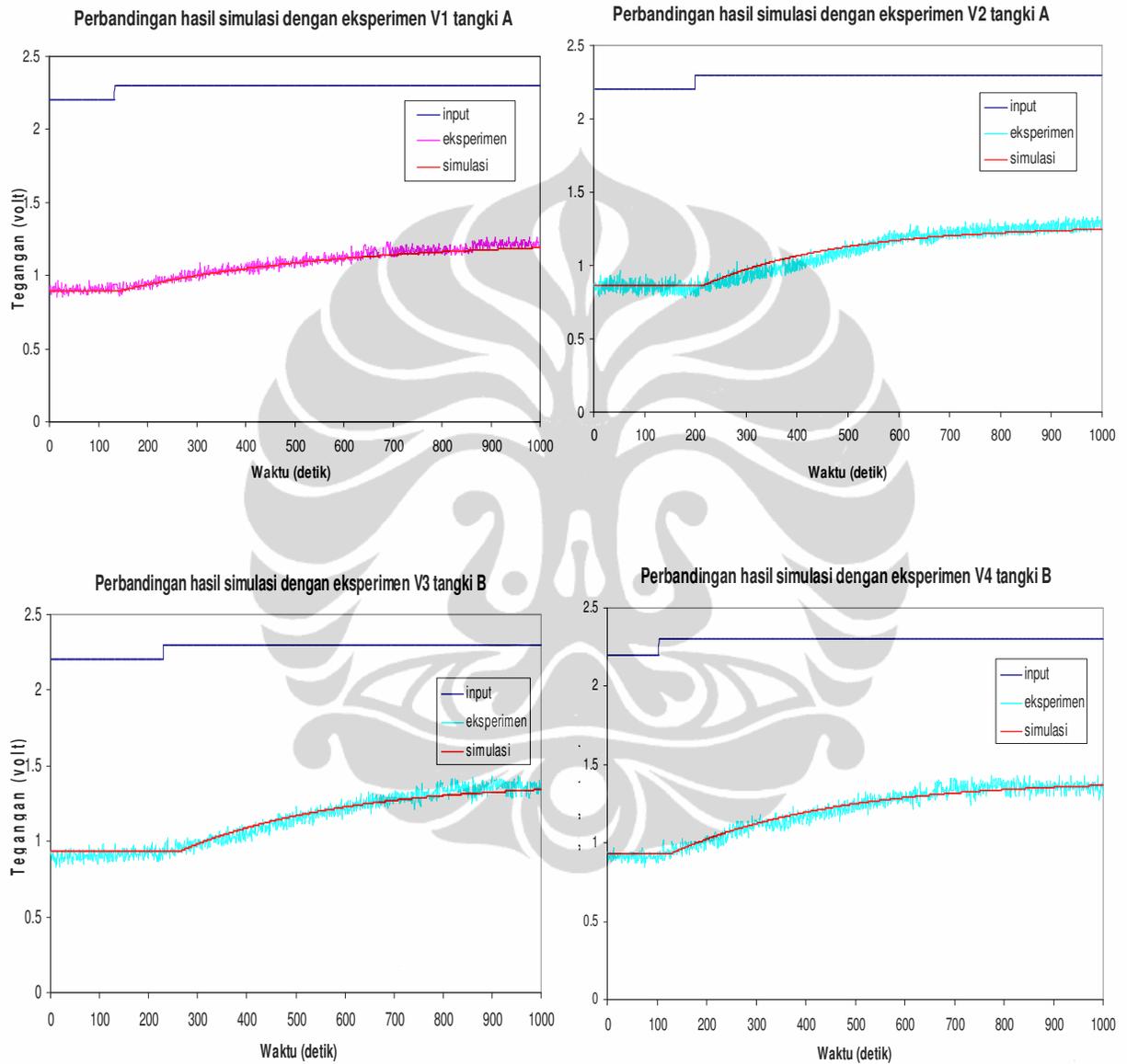
Semua jalur yang terhubung dengan perangkat keras NI-USB 6229 baik masukan maupun keluaran harus melewati rangkaian buffer. Hal ini untuk menghindari kerusakan pada komponen dan penurunan tegangan sinyal (*signal drop*). Rangkaian buffer menggunakan dua rangkaian op amp pembalik (*inverting opamp*) yang dipasang secara seri. Rangkaian buffer ditunjukkan gambar 3.11.



Gambar 3.11. Rangkaian buffer

3.4 Hasil Identifikasi Sistem

Dari penelitian seminar telah didapatkan hasil berupa respon fungsi undak untuk hubungan tiap katup seperti ditunjukkan pada gambar 3.12:



Gambar 3.12. Respon undak kalang terbuka hubungan tiap katup ke reservoir

Dengan menggunakan metode kurva reaksi proses telah didapatkan fungsi alih pada untuk tiap jalur katup ke reservoir adalah sebagai berikut:

Katup V1 - Reservoir A

$$G_{1A}(s) = e^{-12s} \left[\frac{3,4}{441s + 1} \right]$$

Katup V3 - Reservoir B

$$G_{3B}(s) = e^{-31s} \left[\frac{4,2}{327s + 1} \right]$$

Katup V2 - Reservoir A

$$G_{2A}(s) = e^{-16s} \left[\frac{3,5}{267s + 1} \right]$$

Katup V4 - Reservoir B

$$G_{4B}(s) = e^{-30s} \left[\frac{4,3}{330s + 1} \right]$$

3.5 Perancangan Kontrol PI pada Sistem Duress

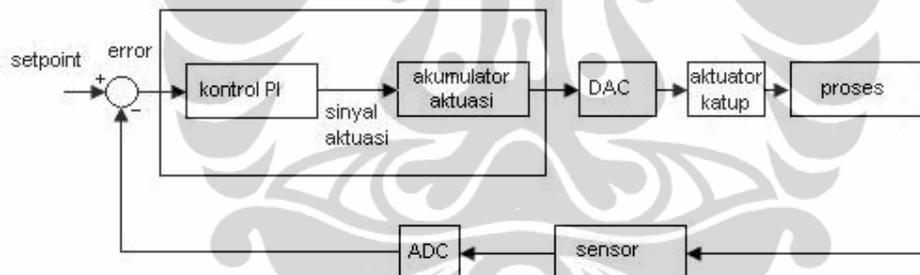
Perancangan kontrol PI dengan metode kurva reaksi proses bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter kontrol PI berdasarkan fungsi transfer sistem yang telah diperoleh dengan metode kurva reaksi proses. Rumus-rumus yang digunakan telah dijelaskan dalam bab dasar teori sub perancangan kontrol PI dengan metode kurva reaksi proses. Nilai-nilai parameter yang akan diperoleh akan dimasukkan dalam bahasa pemrograman matlab pada perangkat lunak LabView.

Langkah-Langkah dalam menerapkan kontrol PI digital:

1. Dapatkan nilai-nilai dari K_p , θ dan τ dari model dinamik sistem dengan menggunakan metode kurva reaksi proses (dilakukan dalam penelitian seminar).
2. Menghitung fraksi waktu tunda digital = $\left(\frac{\theta'}{\theta' + \tau} \right)$ dimana terlebih dulu , menentukan waktu tunda digital θ' yaitu waktu kontinyu yang mendapatkan koreksi persamaan 2.3a.
3. Pilih tabel yang sesuai, dengan *disturbance respons* atau *set point respons*.
4. Tentukan nilai dari *dimensionless tuning* dari grafik untuk $K_c K_p$ dan $T_i / (\theta + \tau)$.
5. Hitung *dimensional tuning controller*. Misal: $K_c = (K_c K_p) / K_p$.
6. Implementasikan ke dalam kontroler.

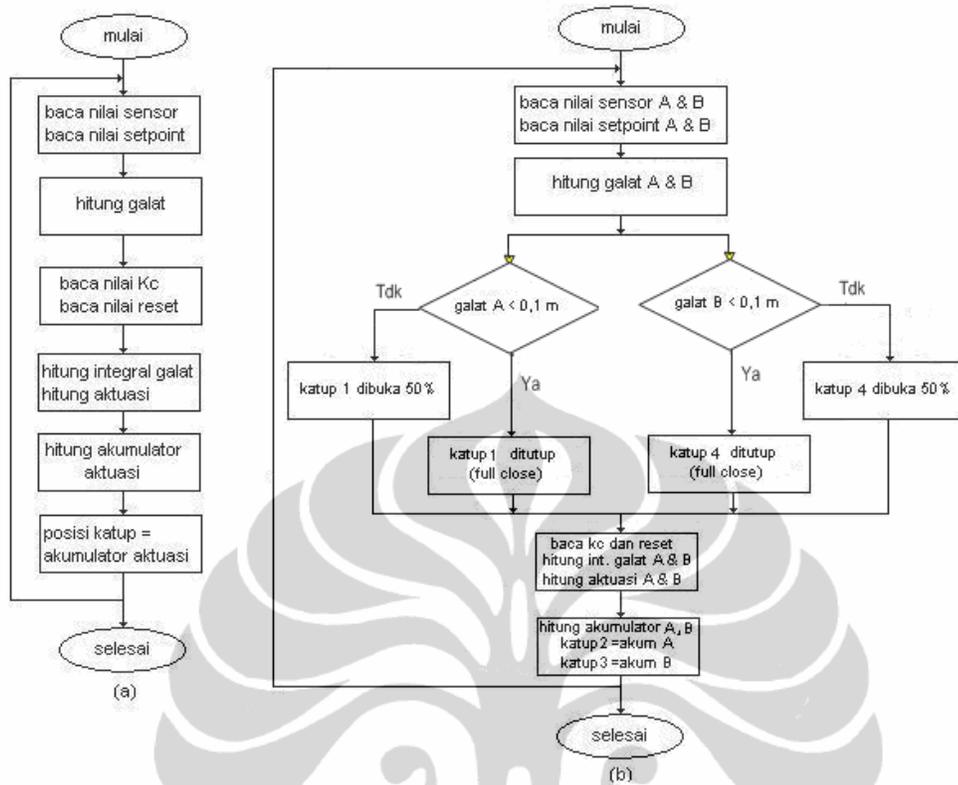
Sinyal aktuasi keluaran sistem kontrol PI yang akan digunakan nantinya tidak dapat digunakan langsung sebagai sinyal masukan aktuator katup PV14B. Pengkondisian harus dilakukan agar sinyal aktuasi keluaran sistem kontrol dapat dihubungkan ke jalur sinyal masukan aktuator katup adalah mengasumsikan bahwa sinyal aktuasi yang bernilai positif akan menggerakkan katup ke arah full open dari kondisi semula dan sinyal aktuasi yang bernilai negatif akan menggerakkan katup ke arah full close dari kondisi semula.

Sebuah variabel yang berfungsi menyimpan data terakhir posisi aktuator diperlukan untuk menghubungkan antara sinyal aktuasi keluaran PI dengan sinyal masukan aktuator katup. Variabel tersebut akan selalu berubah nilainya sesuai dengan penambahan sinyal aktuasi. Nilai variabel tersebut yang akan menjadi sinyal masukan aktuator katup setelah dikonversi dari digital ke analog oleh DAC pada perangkat keras antarmuka NI-USB 6229. Blok diagram kontrol PI terkait dengan sinyal aktuasinya dan jalur sinyal masukan aktuator katup ditunjukkan pada gambar 3.13



Gambar 3.13. Blok diagram kontrol PI

Diagram alir pemrograman ditetapkan untuk menjamin sistem kontrol dapat berjalan dengan benar dan terstruktur. Diagram alir pemrograman PI pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu diagram alir untuk uji kontrol satu masukan satu keluaran dan diagram alir untuk uji kontrol banyak masukan banyak keluaran. Uji kontrol banyak masukan dan banyak keluaran untuk melihat respon undak kalang tertutup sistem kontrol PI dengan obyek kontrol sistem reservoir ganda secara keseluruhan. Diagram alir pemrograman kontrol PI ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Diagram alir kontrol PI; (a) satu masukan satu keluaran dan (b) banyak masukan banyak keluaran

3.5.1 Menghitung fraksi dead time digital

Untuk mendapatkan unjuk kerja kendali digital mendekati kendali analog maka periode eksekusi pengendali (waktu sampling) PI maks dirumuskan sbb:

$$\Delta t \leq 0.05(\theta + \tau) \text{ atau } \Delta t_{\max} = 0.05(\theta + \tau).$$

Sehingga periode maksimum untuk tiap katup adalah sbb:

$$\text{Katup V1 - Reservoir A} \rightarrow \Delta t_{\max} = 0.05(12 + 441) = 22.65 \text{ detik}$$

$$\text{Katup V2 - Reservoir A} \rightarrow \Delta t_{\max} = 0.05(16 + 267) = 14.15 \text{ detik}$$

$$\text{Katup V3 - Reservoir B} \rightarrow \Delta t_{\max} = 0.05(31 + 327) = 17.9 \text{ detik}$$

$$\text{Katup V4 - Reservoir B} \rightarrow \Delta t_{\max} = 0.05(30 + 330) = 18 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut di atas maka periode sampling untuk sistem kontrol digital dalam penelitian ini ditentukan sebesar $\Delta t = 1 \text{ detik}$. Selanjutnya waktu tunda digital dan fraksi deadtime digital dihitung kembali

untuk keperluan perhitungan nilai K_c dan T_i . Hasil perhitungan fraksi deadtime digital adalah sbb:

Katup V1 terhadap reservoir A \rightarrow

$$\text{Waktu tunda digital } \theta' = \theta + \frac{\Delta t}{2} = 12 + 0,5 = 12,5$$

$$\text{fraksi dead time digital} = \frac{\theta'}{\theta' + \tau} = \frac{12,5}{453,5} = 0,027563$$

Katup V2 terhadap reservoir A \rightarrow

$$\text{Waktu tunda digital } \theta' = \theta + \frac{\Delta t}{2} = 16 + 0,5 = 16,5$$

$$\text{fraksi dead time digital} = \frac{\theta'}{\theta' + \tau} = \frac{16,5}{283,5} = 0,058201$$

Katup V3 terhadap reservoir B \rightarrow

$$\text{Waktu tunda digital } \theta' = \theta + \frac{\Delta t}{2} = 31,5 + 0,5 = 31,5$$

$$\text{fraksi dead time digital} = \frac{\theta'}{\theta' + \tau} = \frac{31,5}{358,5} = 0,087866$$

Katup V4 terhadap reservoir B \rightarrow

$$\text{Waktu tunda digital } \theta' = \theta + \frac{\Delta t}{2} = 30 + 0,5 = 30,5$$

$$\text{fraksi dead time digital} = \frac{\theta'}{\theta' + \tau} = \frac{30,5}{360,5} = 0,0846$$

3.5.2 Menghitung K_c dan T_i

Fungsi transfer kontrol PI digital adalah sebagai berikut :

$$MV_N = K_c \left[E_N + \frac{\Delta t}{T_i} \sum_{i=1}^N E_i \right]$$

Perhitungan nilai K_c dan T_i berdasarkan metode ciancone *Ciancone correlation* untuk *set point change* menggunakan grafik korelasi antara nilai K_c dan T_i terhadap fraksi waktu tunda (Gambar 2.1a. dan 2.1b. pada Bab II) adalah sbb:

Katup V1 terhadap reservoir A \rightarrow

$$K_c K_p = 1,5 \quad \Rightarrow K_c = \frac{1,5}{3,4} = 0,441$$

$$\frac{T_i}{\theta' + \tau} = 0,74 \quad \Rightarrow T_i = 0,74 \times 453,5 = 335,59$$

Katup V2 terhadap reservoir A →

$$K_c K_p = 1,5 \quad \Rightarrow K_c = \frac{1,5}{3,5} = 0.429$$

$$\frac{T_i}{\theta' + \tau} = 0,74 \quad \Rightarrow T_i = 0,74 \times 283.5 = 209.79$$

Katup V3 terhadap reservoir B →

$$K_c K_p = 1,5 \quad \Rightarrow K_c = \frac{1,5}{4,2} = 0.357$$

$$\frac{T_i}{\theta' + \tau} = 0,74 \quad \Rightarrow T_i = 0,74 \times 358.5 = 265.29$$

Katup V4 terhadap reservoir B →

$$K_c K_p = 1,5 \quad \Rightarrow K_c = \frac{1,5}{4,3} = 0.3488$$

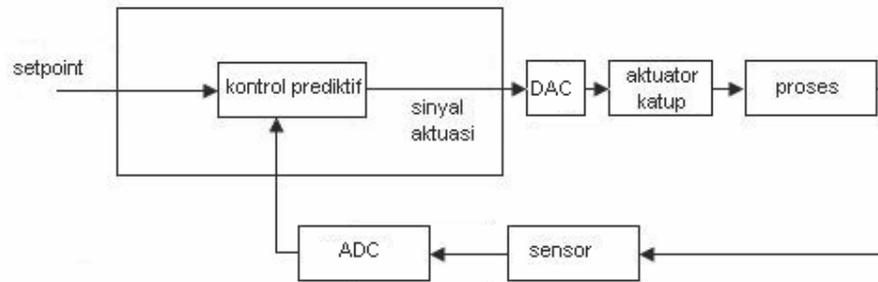
$$\frac{T_i}{\theta' + \tau} = 0,74 \quad \Rightarrow T_i = 0,74 \times 360.5 = 266.77$$

3.6 Perancangan Kontrol Prediktif

Perancangan kontrol prediktif dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter kontrol prediktif. Kontrol prediktif berbasis model digunakan dalam penelitian ini sebagai pembanding kontrol PI. Alasan utama penggunaan kontrol prediktif adalah adanya waktu tunda yang cukup besar pada respon undak kalang terbuka akibat instalasi pemipaan pada sistem reservoir ganda. Parameter kontrol prediktif dihitung berdasarkan fungsi transfer yang telah diperoleh dari hasil identifikasi sistem dengan metode kurva reaksi proses.

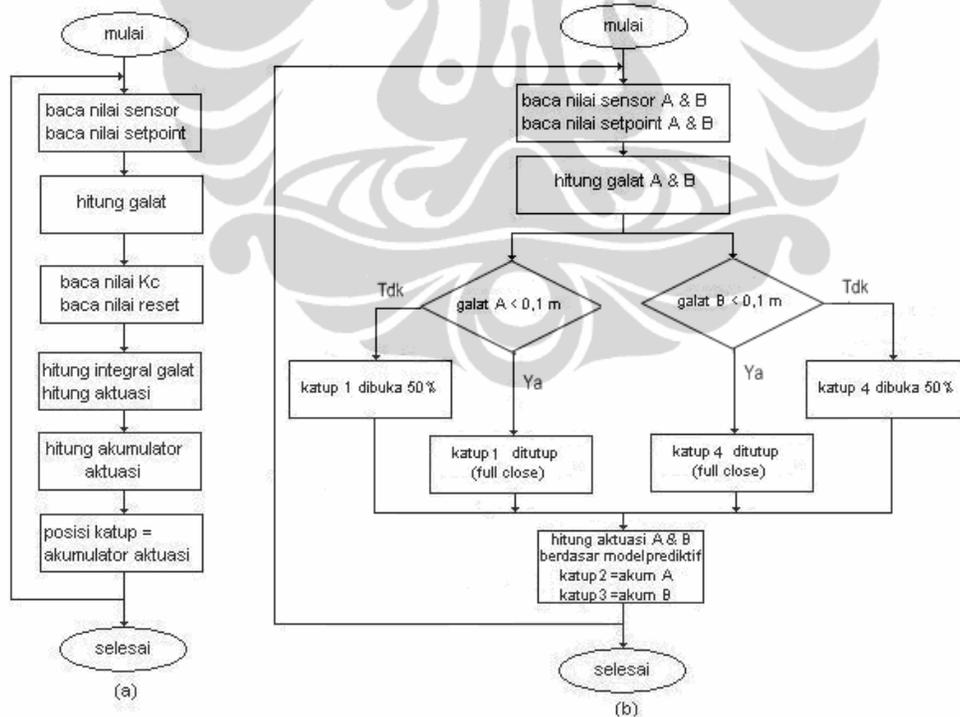
Parameter kontrol prediktif yang berupa panjang horison ditetapkan berdasarkan nilai waktu tunda yang diperoleh dari identifikasi sistem metode kurva reaksi proses. Perancangan kontrol prediktif berdasarkan rumus-rumus yang telah dijelaskan pada sub bab perancangan kontrol prediktif di dasar teori

Sinyal masukan aktuator katup yang berfungsi sebagai penentu posisi katup memberikan keuntungan tersendiri ketika mendesain kontrol prediktif, hal ini dikarenakan aktuasi keluaran kontrol prediktif berupa nilai masukan dari obyek kontrol dimana dalam kasus penelitian ini adalah debit air masukan yang proporsional terhadap tegangan/sinyal masukan aktuator katup. Blok diagram penerapan kontrol prediktif terkait dengan sinyal aktuasinya dan jalur sinyal masukan aktuator katup ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Blok diagram kontrol prediktif

Diagram alir pemrograman ditetapkan untuk menjamin sistem kontrol dapat berjalan dengan benar dan terstruktur. Diagram alir pemrograman prediktif pada penelitian ini juga terbagi menjadi dua bagian yaitu diagram alir untuk uji kontrol satu masukan satu keluaran dan diagram alir untuk uji kontrol banyak masukan banyak keluaran. Diagram alir pemrograman untuk kontrol prediktif ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Diagram alir kontrol prediktif; (a) satu masukan satu keluaran dan (b) banyak masukan banyak keluaran

3.6.1 Membuat parameter pengendali Prediktif

Model yang digunakan dalam kontrol prediktif ini sama dengan model yang digunakan dalam uji kontrol PI, akan tetapi sinyal kontrol prediktif langsung berupa nilai posisi katup. Sinyal aktuasi dihitung berdasar rumus prediktif bukan berdasarkan galat/error.

Langkah-langkah dalam penerapan kendali prediktif adalah:

1. Menggunakan fungsi alih hasil identifikasi (kontinu) yaitu $G(s)$
2. Mengubah fungsi alih kontinu menjadi diskrit $G(z)$ dengan transformasi z sesuai dengan periode cuplikan.
3. Mengubah fungsi diskrit ke persamaan domain waktu diskrit (transformasi balik z)
4. Menghitung parameter prediktif dengan rumus rekursif
5. Mengubah persamaan untuk menghitung sinyal aktuasi $u(k)$

Berikut ini adalah pembuatan parameter kendali prediktif untuk katup V2 reservoir A

$$G_{2A}(s) = e^{-16s} \left[\frac{3,5}{267s + 1} \right]$$

Dengan menggunakan matlab maka didapatkan fungsi alih sistem diskrit katupV2-reservoirA adalah:

$$G_{2A}(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0.01308}{z - 0.9963}$$

Fungsi alih diskrit yang dibuat dari hanyalah dari fungsi alih orde satu saja, tidak mengikutkan fungsi delay, karena horizon prediktif yang diambil lebih besar dari waktu tunda sistem, dimana telah dihitung dalam seminar bahwa pada saat *steady state* waktu tunda sistem adalah 15.67 detik. Jika panjang horison lebih besar dari waktu tunda sistem maka kontrol prediktif mampu mengatasi masalah waktu tunda.

$$\text{Maka : } Y(z)[z - 0.9963] = 0.01308U(z)$$

$$Y(k+1) - 0.9963Y(k) = 0.01308U(k)$$

$$Y(k+1) = 0.9963Y(k) + 0.01308U(k)$$

$$\begin{aligned}
 Y(k+2) &= 0.9963Y(k+1) + 0.01308U(k+1) \\
 &= 0.9963[0.9963Y(k) + 0.01308U(k)] + 0.01308U(k+1) \\
 &= 0.9926Y(k) + 0.01303U(k) + 0.01308U(k+1)
 \end{aligned}$$

dimana $U(k+1) = U(k)$ maka :

$$\begin{aligned}
 &= 0.9926Y(k) + 0.01303U(k) + 0.01308U(k) \\
 &= 0.9926Y(k) + 0.02611U(k)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y(k+3) &= 0.9963Y(k+2) + 0.01308U(k+2) \\
 &= 0.9963[0.9926Y(k) + 0.02611U(k)] + 0.01308U(k+2) \\
 &= 0.9889Y(k) + 0.02600U(k) + 0.01308U(k+2) \\
 &= 0.9889Y(k) + 0.03908U(k)
 \end{aligned}$$

Seterusnya hingga $Y(k+20)$ didapatkan:

$$Y(k+20) = 0.92854Y(k) + 0.25261U(k)$$

Maka

$$\begin{aligned}
 U_{2A}(k) &= \frac{Y(k+20) - 0.92854Y(k)}{0.25261} \\
 U_{2A}(k) &= \frac{\text{setpoint} - 0.92854Y(k)}{0.25261}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan cara yang sama maka diperoleh persamaan untuk menghitung nilai sinyal kontrol untuk tiap jalur katup ke reservoir sbb:

Katup V1 - Reservoir A

$$U_{1A}(k) = \frac{\text{setpoint} - 0.92985Y(k)}{0.24756}$$

Katup V3 - Reservoir B

$$U_{3B}(k) = \frac{\text{setpoint} - 0.92910Y(k)}{0.2528}$$

Katup V4 - Reservoir B

$$U_{4B}(k) = \frac{\text{setpoint} - 0.92919Y(k)}{0.25270}$$

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

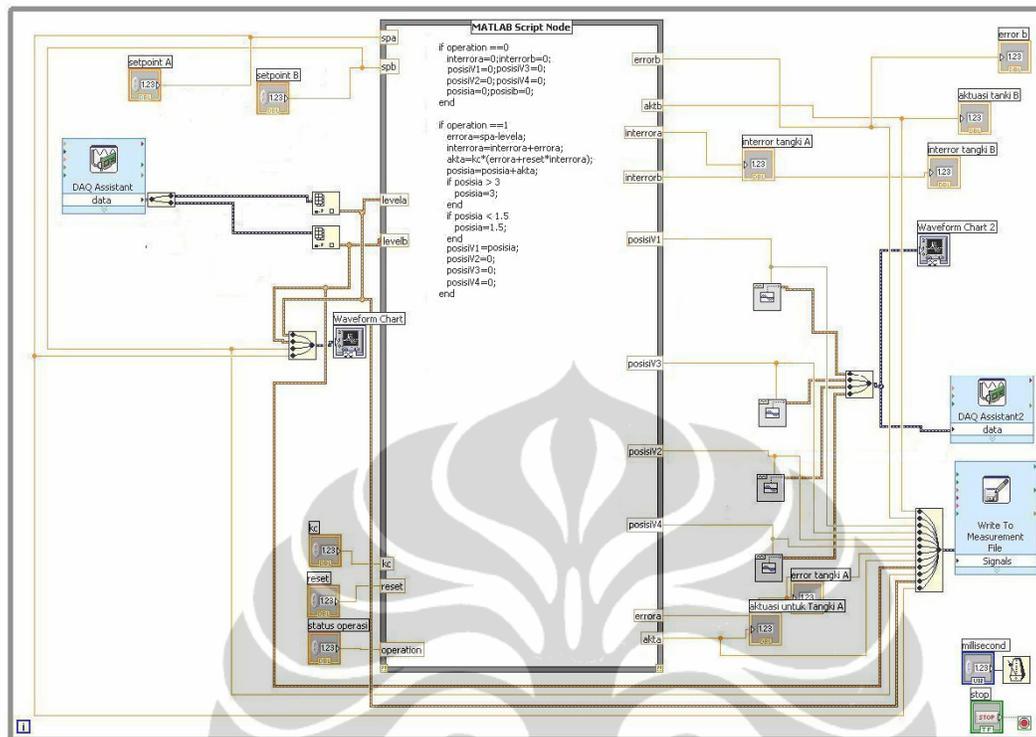
4.5 Uji Kontrol PI untuk Kondisi Satu Masukan dan Satu Keluaran

Uji Kontrol PI SISO dilakukan untuk mengetahui respon kendali PI pada hubungan tiap katup ke tangki, pada penelitian ini terdapat 4 hubungan yaitu Uji kontrol PI antara katup V1 dan reservoir A, katup V2-reservoir A, katup V3-reservoir B, dan katup V4-reservoir B.

Penentuan rentang posisi kerja aktuator/katup didasarkan pada hasil kalibrasi dan uji pengisian reservoir dalam oleh gambar 3.7a dan b. Rentang kerja aktuator dipilih antara 1.5 Volt (12,5 % *open*) sampai dengan 3 Volt (50 % *open*) karena debit aliran pada posisi diatas 50 % tidak banyak berbeda, sehingga daerah kerja aktuator dibatasi pada daerah tersebut untuk efektifitas kerja aktuator.

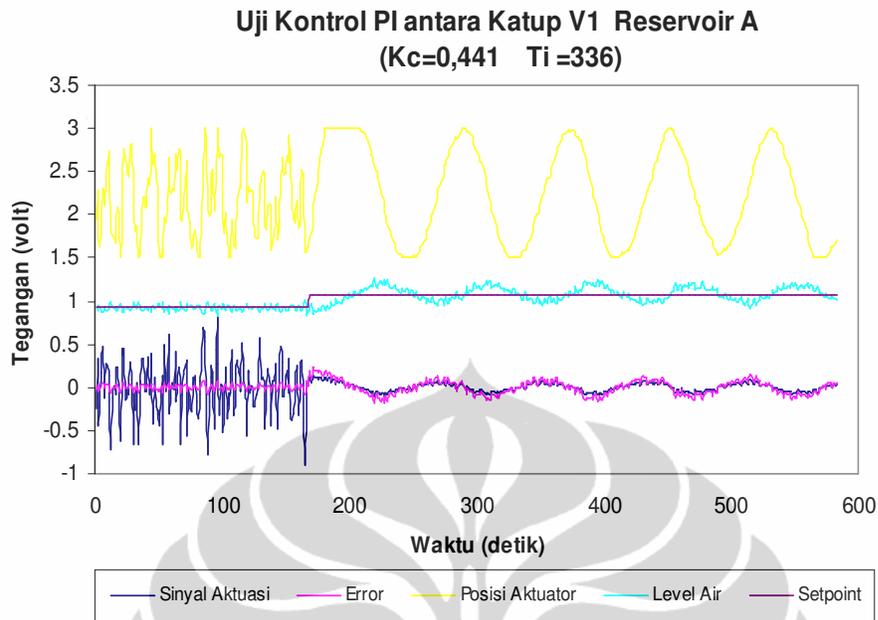
4.1.1 Uji kontrol PI antara katup V1 dan reservoir A

Uji kontrol PI dilakukan dengan menggunakan nilai parameter Kc dan Ti yang telah diperoleh. Alur diagram pada perangkat lunak Labview didesain untuk memperoleh dua masukan analog yaitu level A dan level B, yang berasal dari sensor jarak Sharp GP2D12 dan empat keluaran analog yaitu posisi aktuator V1, V2, V3 dan V4. Proses perhitungan sinyal aktuasi dan sinyal posisi aktuator dilakukan dalam blok matlab *script node* dengan menggunakan bahasa pemrograman matlab. Diagram koneksi untuk uji kontrol PI untuk hubungan antara katup V1 dengan reservoirA pada perangkat lunak Labview ditunjukkan pada gambar 4.1.



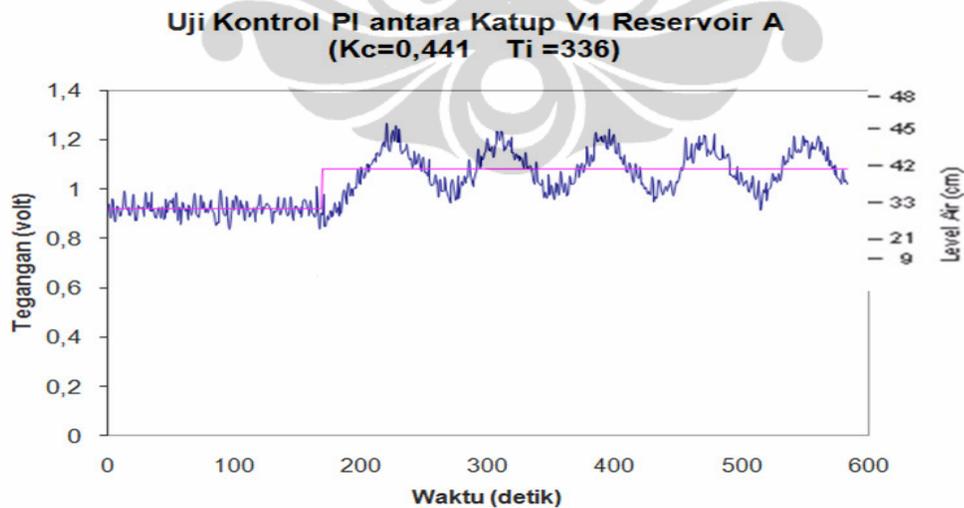
Gambar 4.1. Diagram koneksi uji kontrol PI antara katup V1 dan reservoir A

Hasil pengujian kontrol PI untuk hubungan antara katup V1 dan reservoir A diawali dengan menggunakan nilai parameter hasil perhitungan menggunakan korelasi Ciancone yaitu $K_c=0,441$ dan $T_i=336$. Data-data yang disimpan adalah *setpoint*, ketinggian level air, *error*, sinyal aktuasi dan posisi aktuator. Satuan dari keseluruhan data masih berbentuk volt. Hasil pengujian kontrol PI untuk kontrol ditunjukkan pada gambar 4.2.



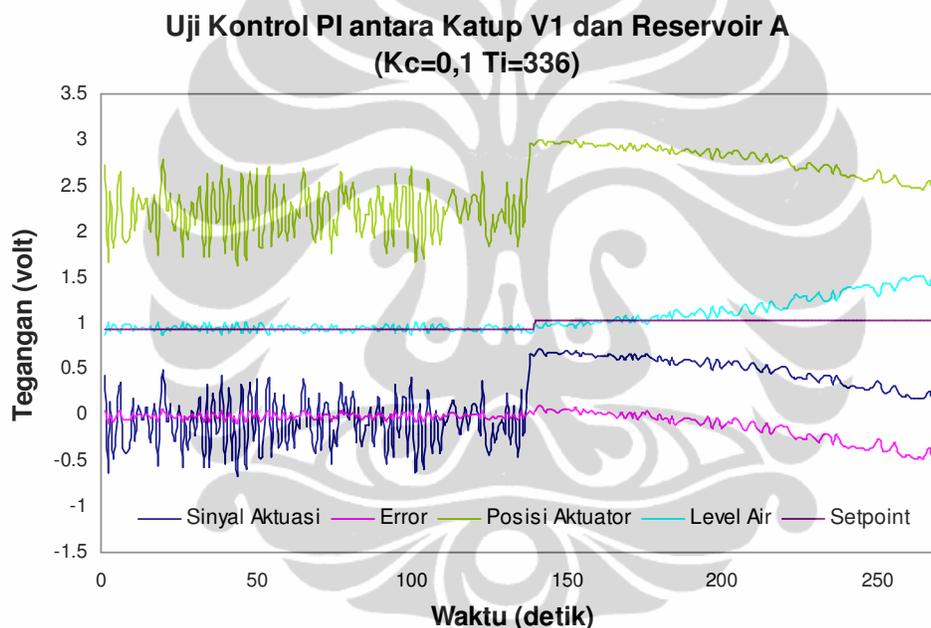
Gambar 4.2. Hasil uji kontrol PI antara katup V1 dan Reservoir A

Informasi ketinggian level air dan setpoint ditampilkan kembali untuk menunjukkan respon undak kalang tertutup yang lebih jelas yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Respon undak dengan perubahan setpoint dari 0,9 volt menjadi 1,1 volt menunjukkan respon yang stabil akan tetapi berisolasi dengan amplitudo yang relatif tetap.



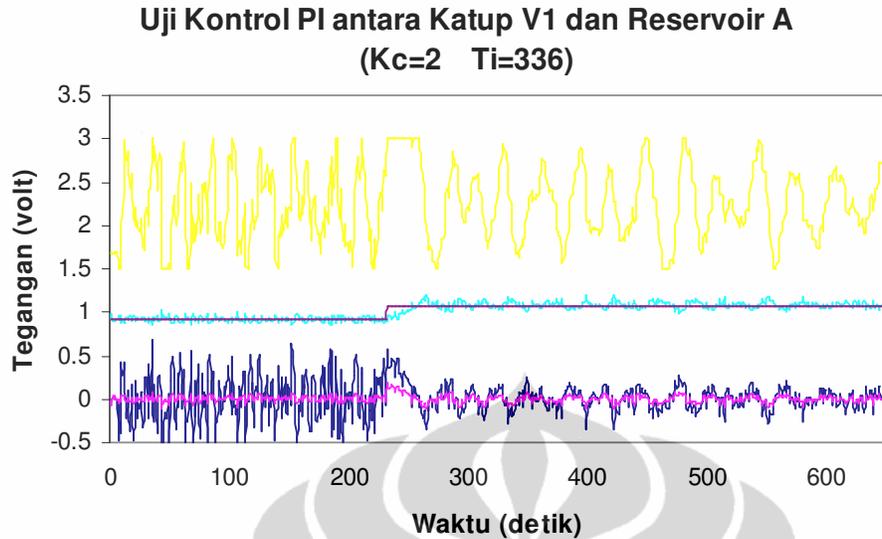
Gambar 4.3. Hasil uji kontrol PI khusus data level air V1 reservoir A

Dari gambar terlihat bahwa pengendali PI dapat mengendalikan level air hanya masih terdapat osilasi. Pengujian ulang dilakukan dengan menurunkan nilai K_c menjadi 0,1 untuk melihat respon undak dan pengaruh penurunan nilai K_c tersebut, adapun nilai T_i tetap sama. Respon undak kalang tertutup hubungan antara katup V1 dengan reservoir A untuk $K_c=0,1$ ditunjukkan pada gambar 4.4. Hasil uji menunjukkan respon keluaran untuk perubahan setpoint dari 0,9 volt menjadi 1,1 volt menjadi tidak stabil yang ditandai kenaikan level air yang naik terus bahkan sampai meluap tanpa mengalami penurunan. Sementara aktuator berusaha mengecilkan bukaan katup tetapi sangat lambat sehingga level air naik terus dan akhirnya meluap.



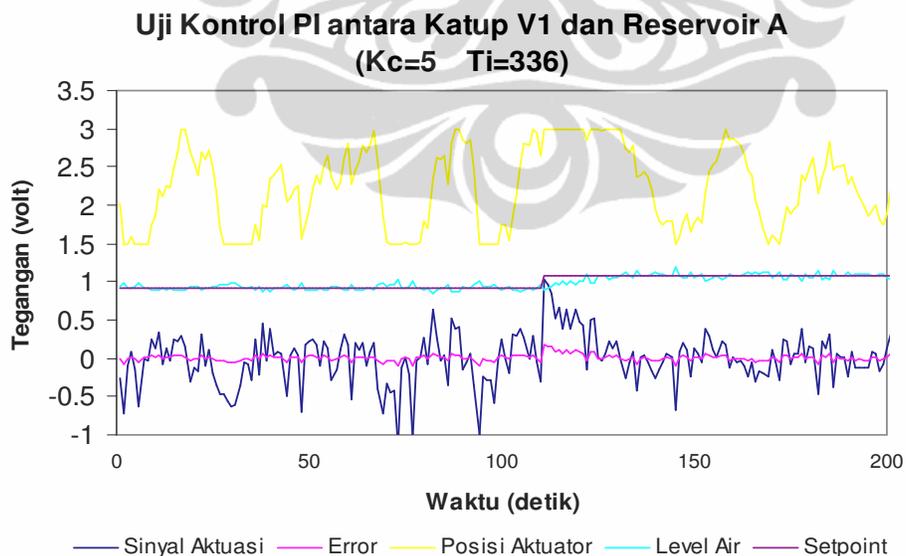
Gambar 4.4. Hasil uji kontrol PI antara V1 reservoir A untuk $K_c=0,1$

Pengujian ulang dilakukan dengan menaikkan nilai K_c menjadi 2 untuk melihat respon undak dan pengaruh kenaikan nilai K_c tersebut, adapun nilai T_i tetap sama, ditunjukkan pada gambar 4.5. Hasil uji menunjukkan respon menjadi stabil akan tetapi posisi aktuator menjadi berisikasi, hal ini dikarenakan besarnya sinyal aktuasi yang dihasilkan oleh kontrol PI akibat besarnya nilai gain yang diberikan.



Gambar 4.5. Hasil uji kontrol PI antara katup V1 dan Reservoir A (Kc=2)

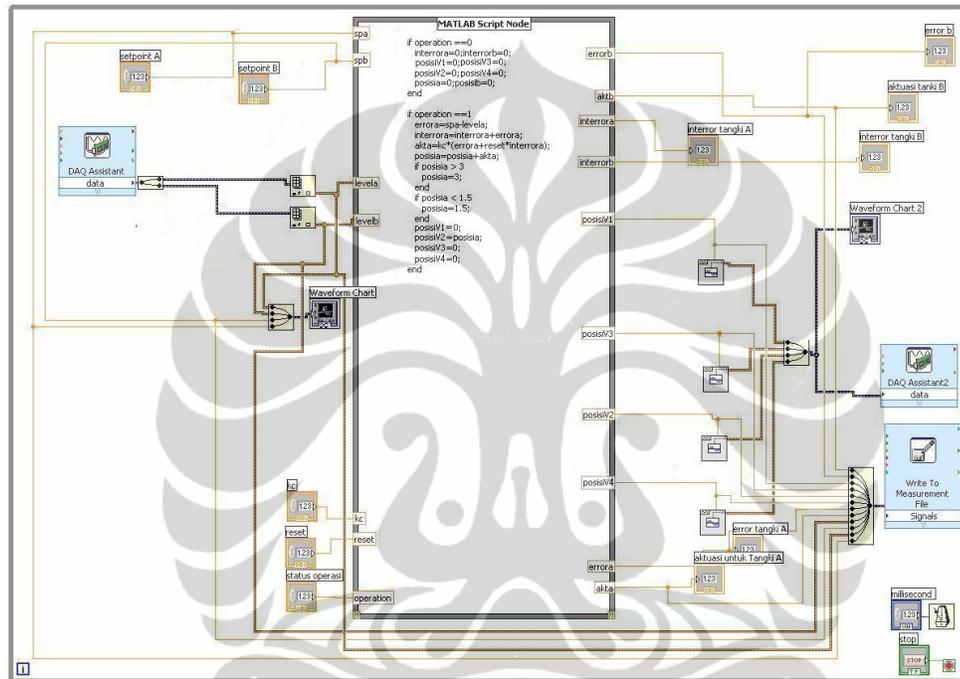
Kemudian dilakukan pengujian ulang dengan menaikkan nilai Kc menjadi 5 dan Ti tidak berubah, menunjukkan respon menjadi stabil akan tetapi posisi aktuatur menjadi berisolasi, hal ini dikarenakan besarnya sinyal aktuasi yang dihasilkan oleh kontrol PI akibat besarnya nilai gain yang diberikan. Hasil pengendalian ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil uji kontrol PI antara katup V1 dan Reservoir A (Kc=5)

4.1.2 Uji kontrol PI antara katup V2 dan reservoir A

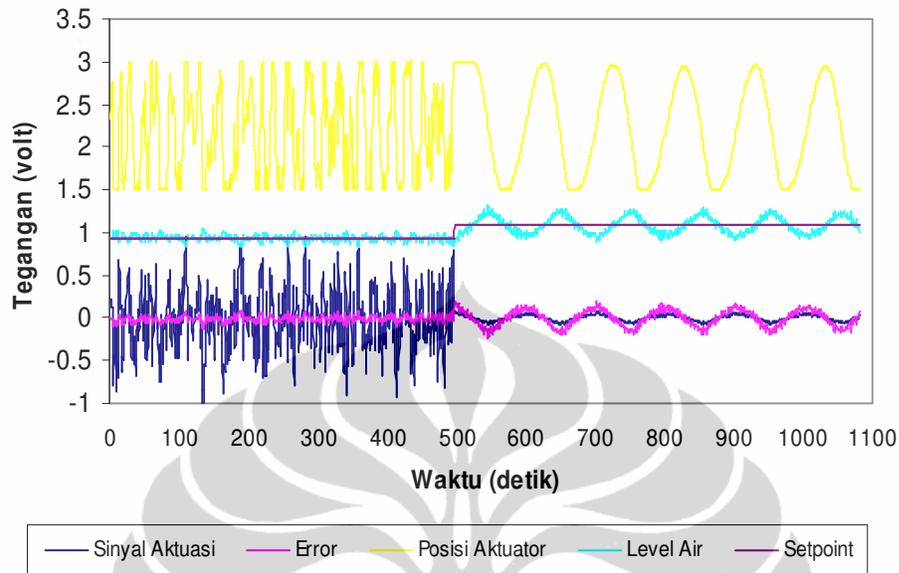
Pengujian kontrol PI untuk hubungan antara katup V2 dengan reservoir A menggunakan alur yang sama. Data-data yang disimpan adalah setpoint, ketinggian level air, error, sinyal aktuasi dan posisi aktuator. Satuan dari keseluruhan data masih berbentuk volt. Diagram koneksi untuk uji kontrol PI antara **katup V2 dengan reservoir A** ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Diagram koneksi uji kontrol PI antara katup V2 dan reservoir A

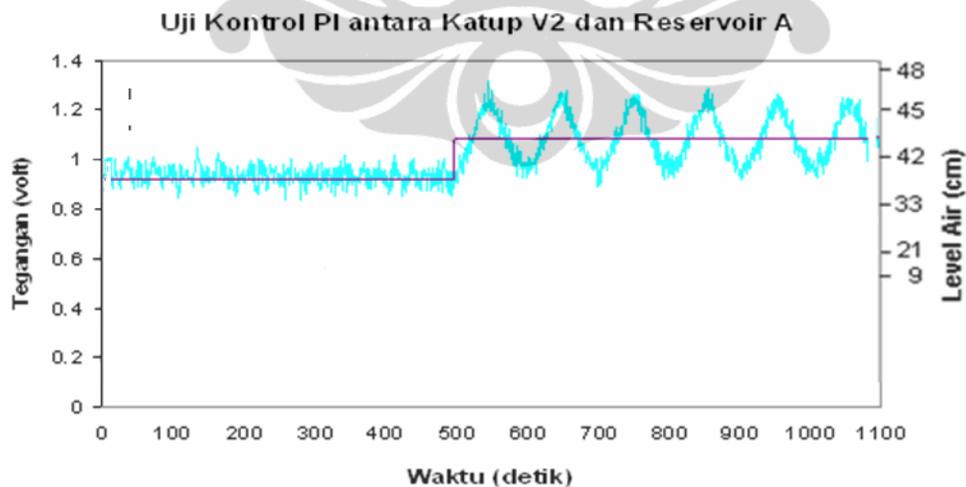
Hasil pengujian kontrol PI untuk parameter kendali $K_c=0.429$ dan $T_i=210$ ditunjukkan pada gambar 4.8.

Uji Kontrol PI antara Katup V2 dan Reservoir A ($K_c=0.429$ $T_i=210$)



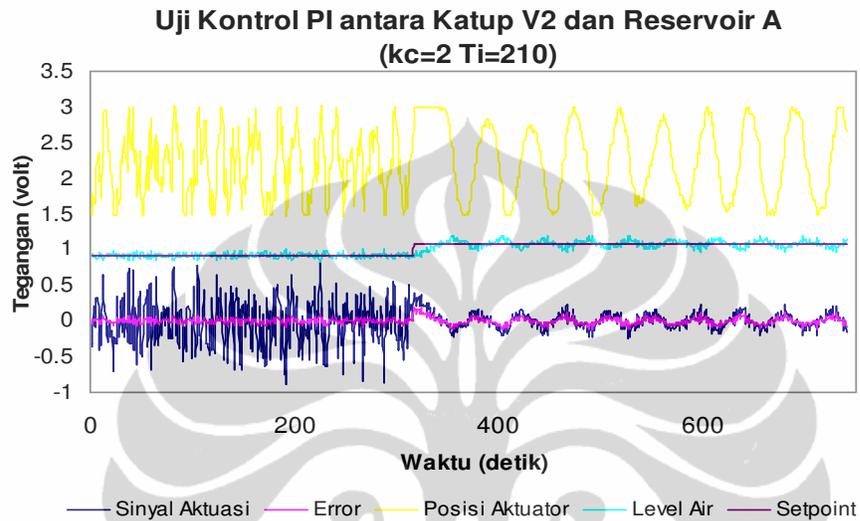
Gambar 4.8. Hasil uji kontrol PI antara katup V2 dan reservoir A

Terlihat pengendali dapat mengendalikan level air dengan baik, hanya masih terdapat osilasi. Informasi ketinggian level air dan setpoint ditampilkan kembali untuk menunjukkan respon undak kalang tertutup yang lebih jelas seperti ditunjukkan pada gambar 4.9.

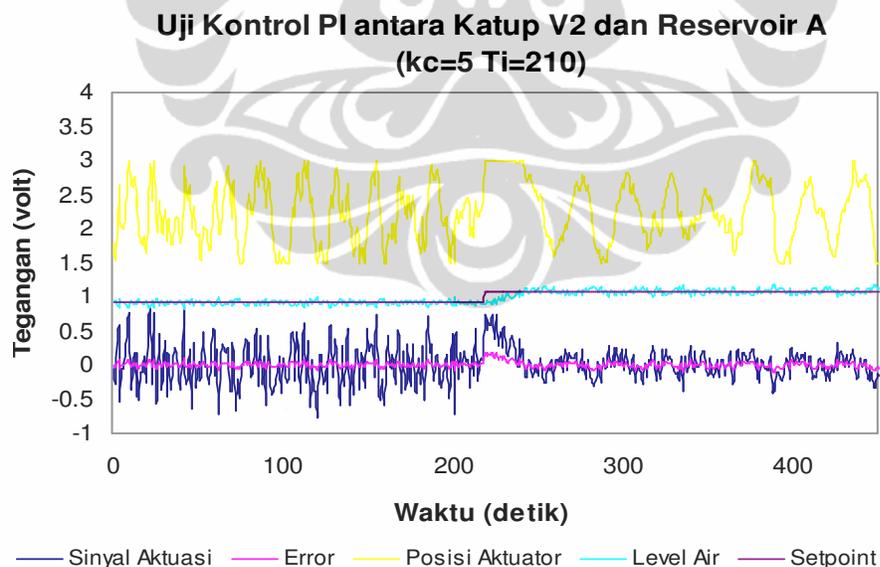


Gambar 4.9. Hasil uji PI khusus data level air V2 reservoir A ($K_c=0.429$ $T_i=210$)

Berturut turut nilai K_c dinaikkan menjadi 2 dan 5 sedangkan T_i tetap 210, menunjukkan respon menjadi stabil akan tetapi posisi aktuator menjadi berisolasi, hal ini dikarenakan besarnya sinyal aktuator yang dihasilkan oleh kontrol PI akibat besarnya nilai gain yang diberikan. Hasil pengendalian ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10. Hasil uji kontrol PI antara katup V2 dan Reservoir A untuk $K_c=2$



Gambar 4.11. Hasil uji kontrol PI antara katup V2 dan Reservoir A untuk $K_c=5$

4.1.3 Uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B

Pengujian kontrol PI untuk hubungan antara katup V3 dengan reservoir B menggunakan alur yang sama dengan pengujian sebelumnya. Data-data yang disimpan adalah setpoint, ketinggian level air, error, sinyal aktuasi dan posisi aktuator. Keseluruhan data ditulis dalam satuan volt. Listing program yang dituliskan dalam blok matlab *script* node adalah sebagai berikut:

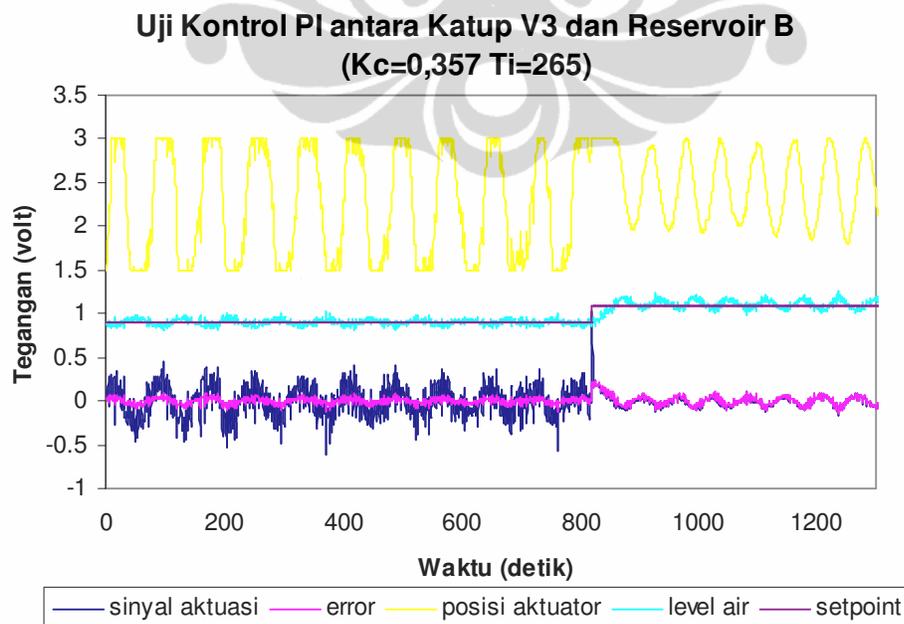
```

if operation ==0
    interora=0;interorb=0;
    posisiV1=0;posisiV3=0;
    posisiV2=0;posisiV4=0;
    posisia=0;posisib=0;
end

if operation ==1
    errorb=spb-levelb;
    interorb=interorb+errorb;
    aktb=kc*(errorb+reset*interorb);
    posisib=posisib+aktb;
    if posisib > 3
        posisib=3;
    end
    if posisib <1.5
        posisib=1.5;
    end
    end
    posisiV1= 0;
    posisiV2= 0;
    posisiV3= posisib;
    posisiV4= 0;
end

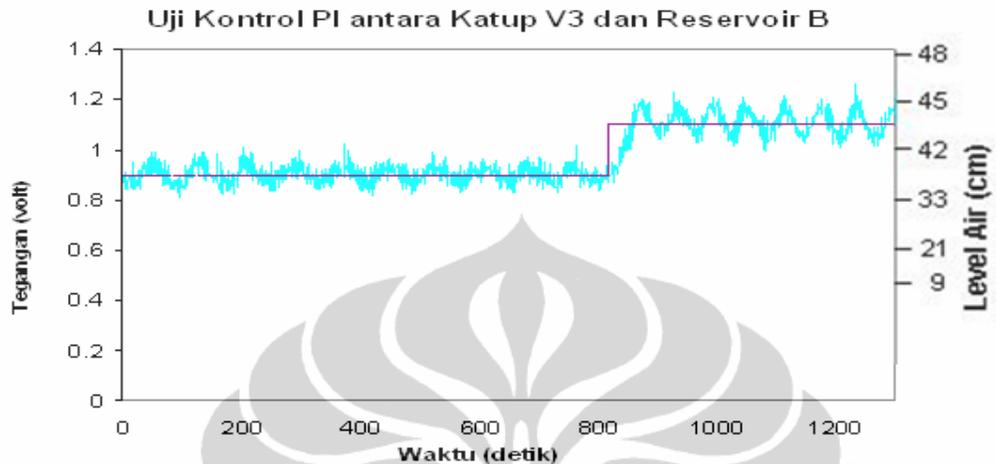
```

Hasil pengujian kontrol tersebut ditunjukkan pada gambar 4.12.



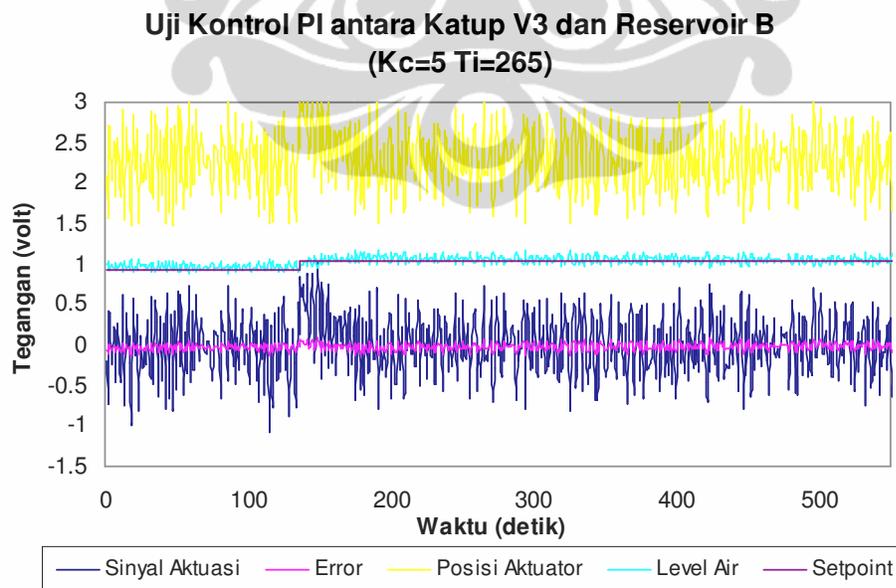
Gambar 4.12. Hasil uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B

Informasi ketinggian level air dan setpoint ditampilkan kembali untuk menunjukkan respon yang lebih jelas seperti ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil uji PI khusus data level air V3 reservoir B ($K_c=0.357$)

Pengujian ulang dilakukan dengan menaikkan nilai K_c menjadi 5 untuk melihat respon undak dan pengaruh kenaikan nilai K_c tersebut, dengan nilai T_i tidak dirubah. Hasil uji menunjukkan respon menjadi stabil seperti ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Hasil uji kontrol PI antara katup V3 dan reservoir B ($K_c=5$)

4.1.4 Uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B

Pengujian kontrol PI untuk hubungan antara katup V4 dengan reservoir B menggunakan alur yang sama dengan pengujian sebelumnya. Listing program yang dituliskan dalam blok matlab *script* node adalah sebagai berikut:

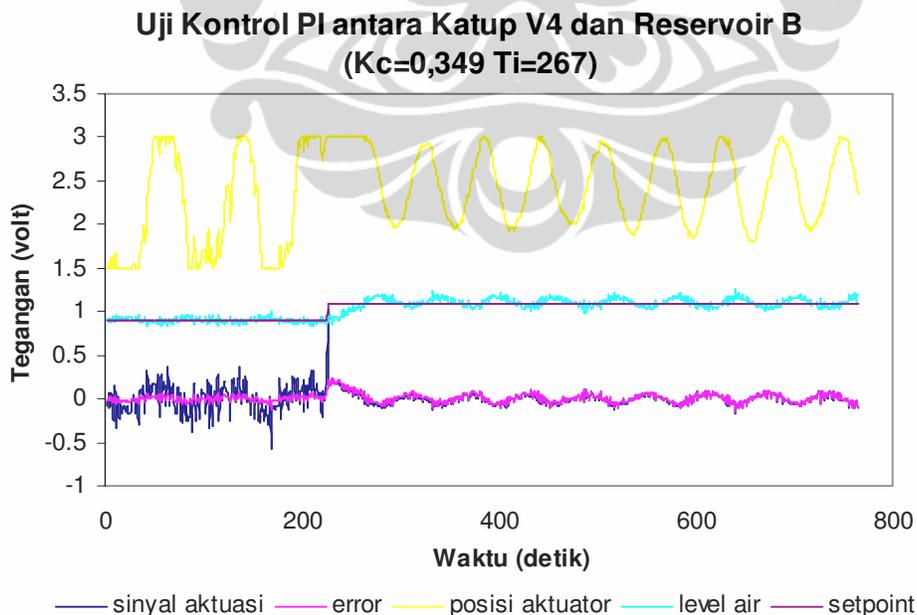
```

if operation ==0
    interora=0;interrorb=0;
    posisiV1=0;posisiV3=0;
    posisiV2=0;posisiV4=0;
    posisia=0;posisib=0;
end

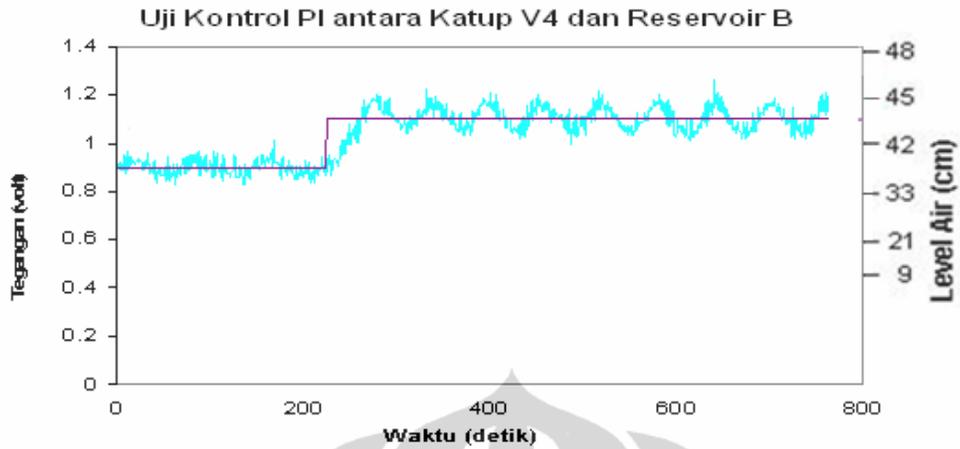
if operation ==1
    errorb=spb-levelb;
    interorb=interrorb+errorb;
    aktb=kc*(errorb+reset*interorb);
    posisib=posisib+aktb;
    if posisib > 3
        posisib=3;
    end
    if posisib <1.5
        posisib=1.5;
    end
    end
    posisiV1= 0;
    posisiV2= 0;
    posisiV3= 0;
    posisiV4= posisib;
end

```

Hasil pengujian kontrol ditunjukkan pada gambar 4.15. sedangkan data level air ditunjukkan oleh gambar 4.16.

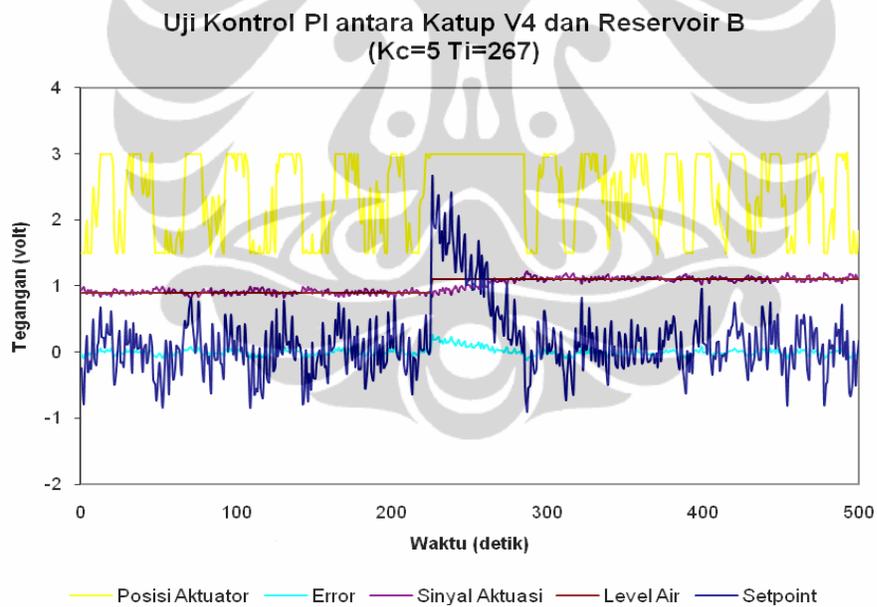


Gambar 4.15. Hasil uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B



Gambar 4.16. Hasil uji PI khusus data level air V4 reservoir B ($K_c=0.349$)

Seperti pada uji kendali yang lain nilai K_c dinaikkan menjadi 5 sedangkan nilai T_i tidak berubah ($T_i=267$), hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.17, dimana respon kendali menjadi stabil.



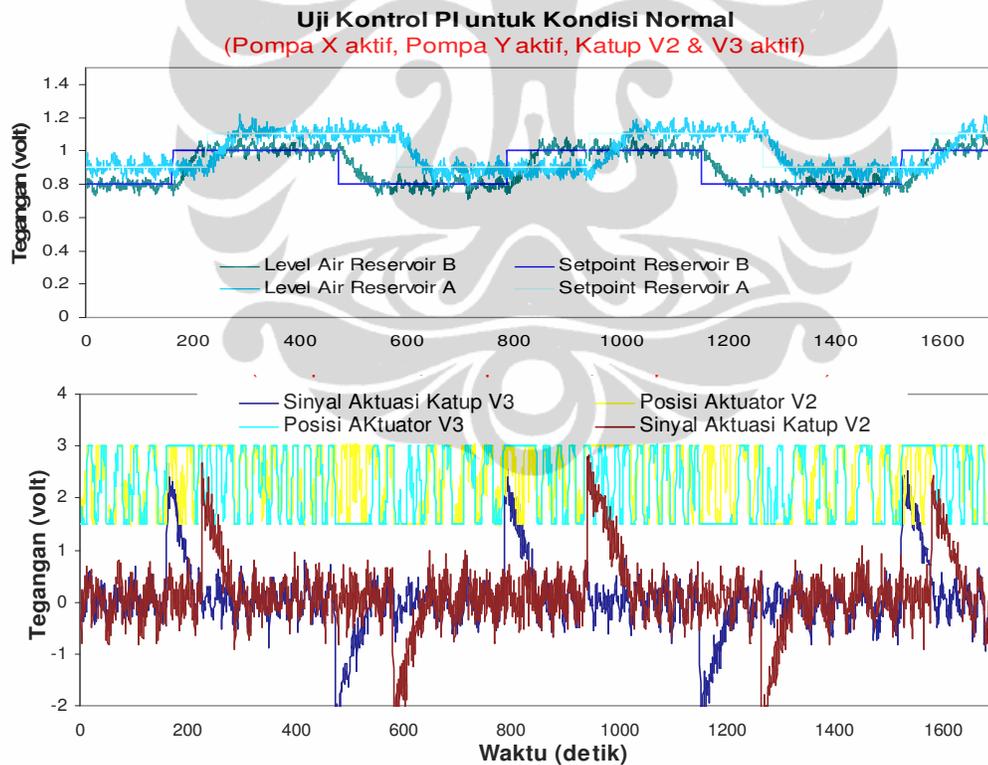
Gambar 4.17. Hasil uji kontrol PI antara katup V4 dan reservoir B ($K_c=5$)

4.6 Uji Kontrol PI untuk Kondisi Dua Masukan dan Dua Keluaran

Dari hasil uji kendali SISO bahwa nilai $K_c=5$ mampu mengendalikan dengan stabil maka untuk kendali MIMO dipilih nilai $K_c=5$ sedangkan nilai dengan T_i tetap sesuai masing-masing hubungan katup-reservoir. Uji kendali MIMO meliputi uji kondisi normal pada steam generator, dan uji kegagalan pada salah satu pompa yang dijelaskan sebagai dalam skenario berikut:

4.2.1 Skenario Kendali PI untuk kondisi Normal

Kendali normal mensimulasikan kondisi kendali level air pada kedua steam generator dalam keadaan normal, yaitu aliran berada pada jalur utama, disini di wakilkan dengan *pompaX-katupV3-reservoirB* dan *pompaY-katupV2-reservoirA*. Jalur aliran normal ditunjukkan garis merah pada diagram blok duress gambar 3.3. Grafik hasil uji kendali ditunjukkan pada gambar 4.18.

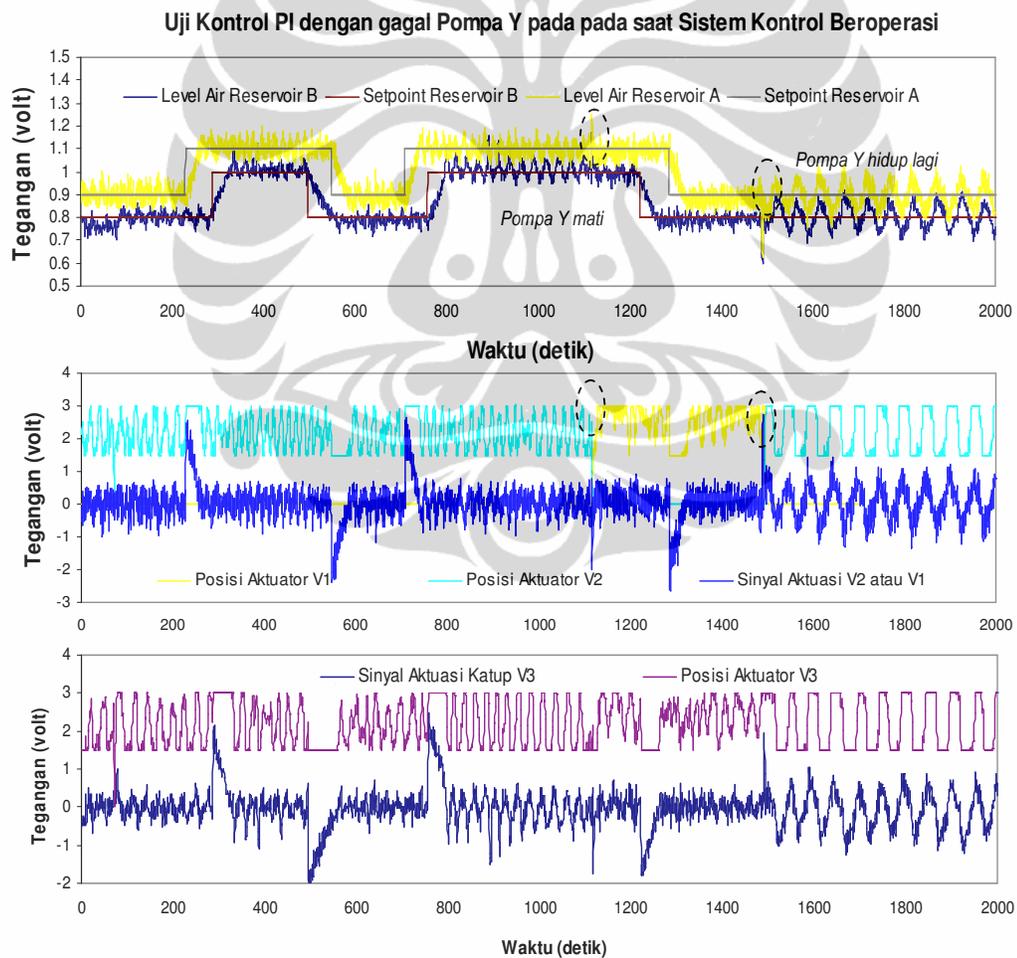


Gambar 4.18. Hasil uji kontrol PI untuk kondisi normal (2 masukan 2 keluaran)

Hasil pengendalian menunjukkan bahwa sistem kendali PI mampu mengendalikan level air pada kedua reservoir dengan cukup baik.

4.2.2 Skenario Kendali PI untuk kondisi Tidak Normal

Skenario tidak normal adalah saat terjadinya kegagalan kinerja salah satu pompa. Pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan sistem kontrol yang telah dikoordinasi untuk menjamin sistem berjalan dengan baik meskipun terjadi kegagalan kinerja salah satu pompa. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat unjuk kerja model sederhana dari prosedur rekayasa keselamatan sistem. Uji kegagalan pompa pada saat sistem beroperasi. Pada mulanya sistem beroperasi pada kondisi normal yaitu *pompaX–katupV3–reservoirB* dan *pompaY–katupV2–reservoirA*, kemudian terjadi kegagalan pompa Y (mati), sehingga kedua tangki harus disuplai dari pompa X melalui jalur *pompaX–katupV1–reservoirA* dan *pompaX–katupV3–reservoirB*. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.19.



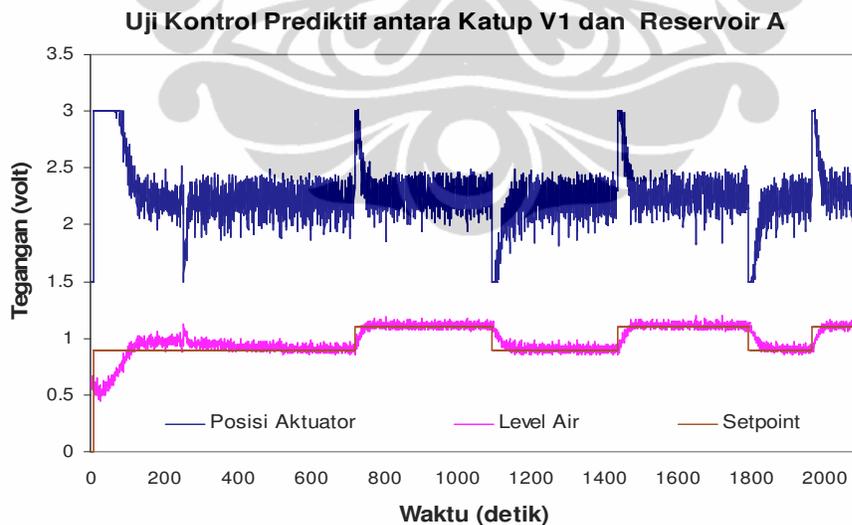
Gambar 4.19. Hasil uji kontrol PI untuk kondisi terjadi gagal pompa Y

Terlihat dari gambar bahwa saat pompa Y mati maka pompa X dapat mengatasi dengan menyuplai kedua tangki dengan baik. Beberapa saat kemudian pompa Y aktif kembali sehingga jalur pengisian kembali lagi ke semula, tetapi ternyata respon yang timbul adalah terjadinya osilasi pada kedua tangki dengan nilai yang cukup besar. Hal ini karena tuning yang di pakai tidak mampu mengatasi perubahan jalur aliran.

4.3 Uji Kontrol Prediktif untuk Satu Masukan dan Satu Keluaran

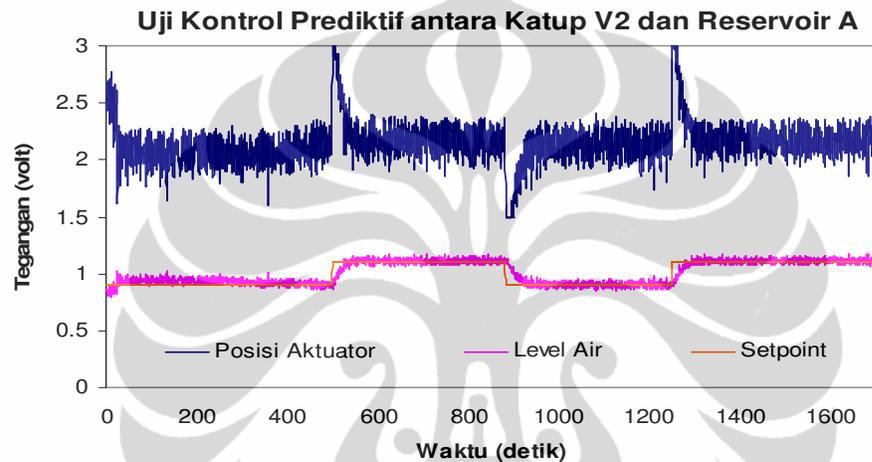
Uji kontrol Prediktif dilakukan dengan menggunakan persamaan sinyal kontrol untuk tiap jalur katup ke reservoir seperti yang telah dihitung di bab 3. Alur diagram pada perangkat lunak Labview didesain untuk kendali prediktif ditunjukkan dalam lampiran, dimana proses perhitungan sinyal aktuasi dan sinyal posisi aktuator dilakukan dalam blok matlab *script node*.

Data-data hasil uji prediktif yang disimpan adalah setpoint, level air, dan posisi aktuator. Hasil pengujian kontrol Prediktif untuk Katup V1 dan reservoir A untuk ditunjukkan pada gambar 4.20. perhitungan menggunakan horizon 20 untuk mengatasi waktu tunda. Diagram labview untuk kontrol tiap katup ditunjukkan dalam lampiran.

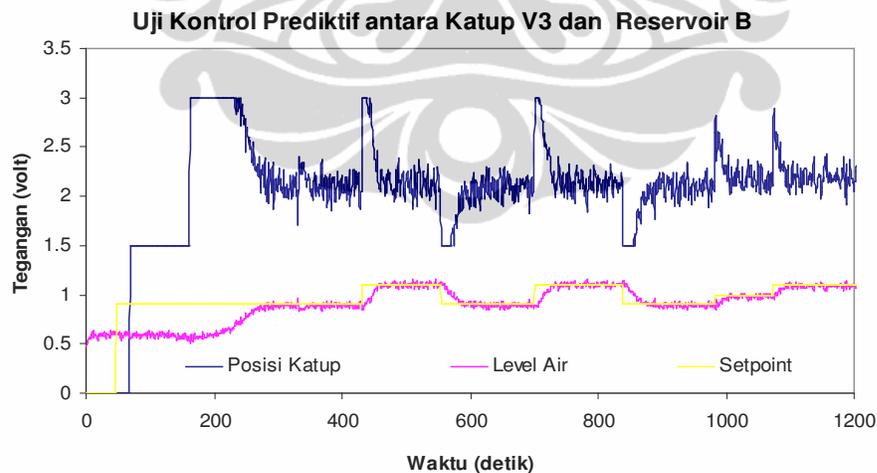


. Gambar 4.20. Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V1 dan reservoir A

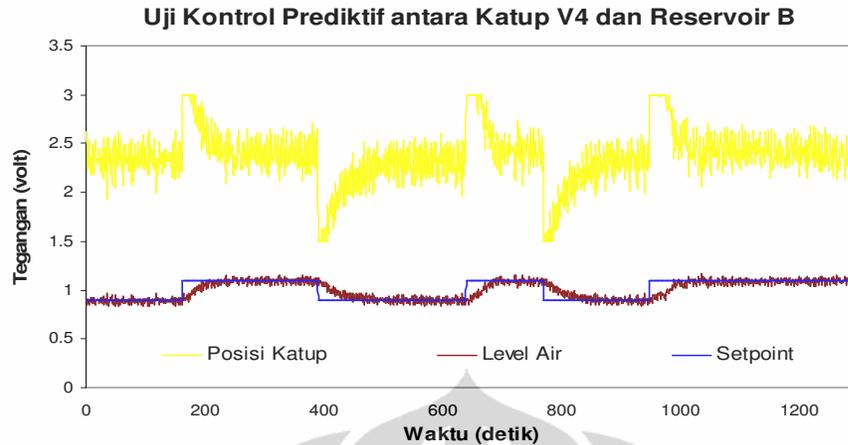
Dari gambar terlihat bahwa pengendali dapat mengendalikan dengan baik terlihat bahwa level air tidak terjadi osilasi seperti halnya yang terjadi pada pengendalian dengan pengendali PI. Hal ini menunjukkan bahwa prediktif mampu mengatasi permasalahan waktu tunda yang cukup besar pada system pipa pada dual reservoir. Berikutnya dilakukan uji control prediktif pada katup V2-reservoir A, katup V3-reservoir B, dan V4-reservoir B seperti ditunjukkan pada gambar 4.21, 4.22, dan 4.23. Respon dari pengendalian tiap katup menunjukkan hasil yang cukup baik.



. Gambar 4.21. Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V2 dan reservoir A



Gambar 4.22. Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V3 dan reservoir B



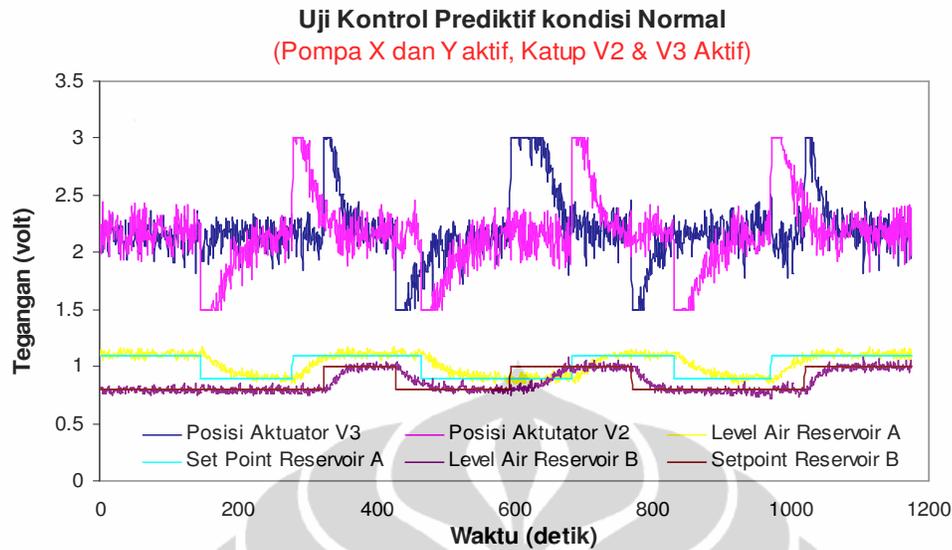
Gambar 4.23. Hasil uji kontrol prediktif untuk Katup V4 dan reservoir B

4.4 Uji Kontrol Prediktif untuk Kondisi Dua Masukan dan Dua Keluaran

Seperti pada uji PI maka dilakukan skenario uji kontrol prediktif pada kondisi normal, dan pada kondisi tidak normal (uji kegagalan pada salah satu pompa). Karena pada uji kendali SISO parameter hitung prediktif menunjukkan hasil yang baik maka nilai parameter tersebut tidak dirubah.

4.4.1 Skenario Kendali Prediktif untuk kondisi Normal

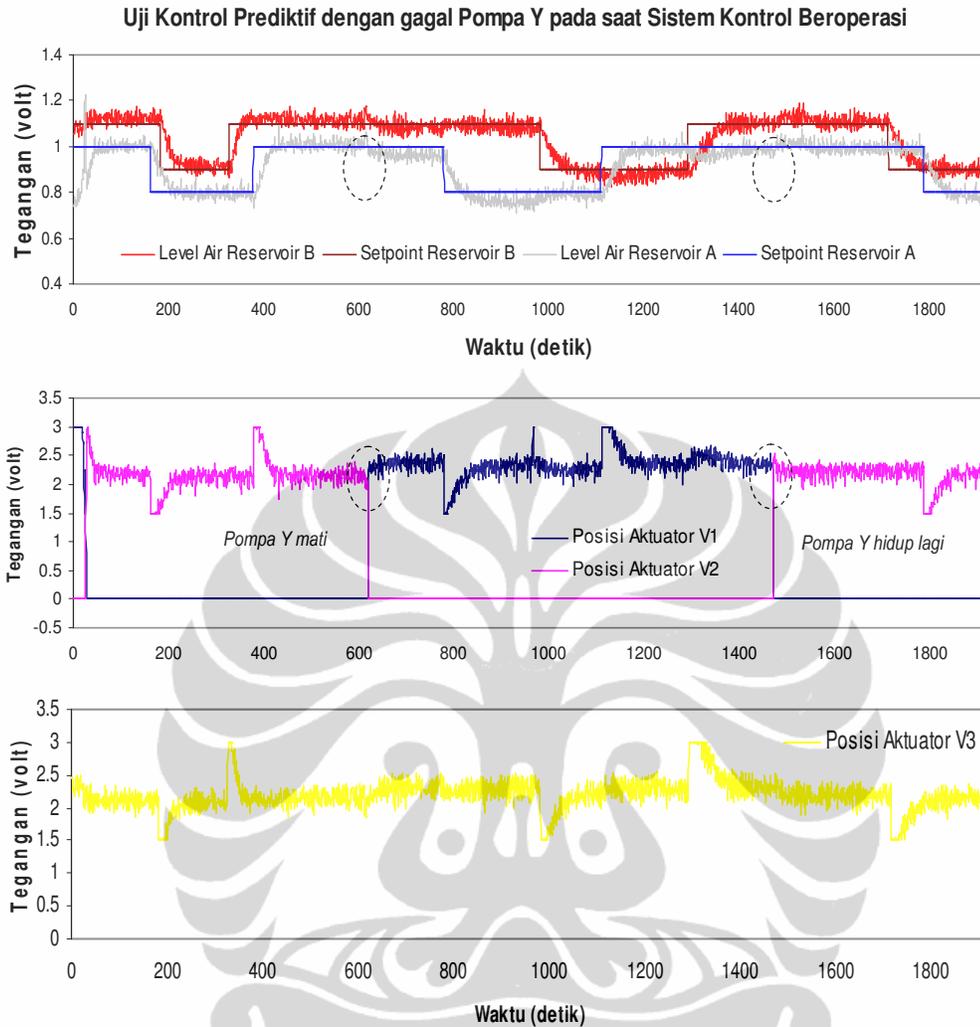
Seperti pada uji kendali PI sebelumnya, uji kendali prediktif untuk kondisi normal mensimulasikan kondisi normal kendali level air pada kedua steam generator dari dua buah pipa utama yaitu disini di wakikan dengan *pompaX-katupV3-reservoirB* dan *pompaY-katupV2-reservoirA*, Grafik hasil uji kendali ditunjukkan pada gambar 4.24.



Gambar 4.24. Hasil uji kontrol prediktif untuk kondisi normal

4.4.2 Skenario Kendali Prediktif untuk kondisi Tidak Normal

Pengujian gagal pompa kontrol prediktif dilakukan lagi seperti pada pengujian PI untuk melihat kemampuan sistem kontrol yang telah dikoordinasi untuk menjamin sistem berjalan dengan baik meskipun terjadi kegagalan kinerja salah satu pompa. Pada mulanya sistem beroperasi pada kondisi normal yaitu *pompaX–katupV3–reservoirB* dan *pompaY–katupV2–reservoirA*, kemudian terjadi kegagalan pompa Y mati sehingga kedua tangki harus disuplai dari pompa X melalui jalur *pompaX–katupV1–reservoirA* dan *pompaX–katupV3–reservoirB*. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.25.



Gambar 4.25. Hasil uji kontrol Prediktif untuk kondisi terjadi gagal pompa Y

Dari grafik aktuator terlihat pada saat pompa Y mati maka V2 seketika *close* dan berganti V1 yang bekerja untuk mengalirkan air dari *pompaX-katupV1-reservoirA*, dan ketika pompa Y hidup lagi maka katup V1 *close* dan katup V2 bekerja kembali. Terlihat dari gambar bahwa saat pompa Y mati maka pompa X dapat menyuplai kedua tangki dengan baik. Beberapa saat kemudian pompa Y hidup lagi sehingga jalur pengisian kembali lagi ke semula ternyata respon yang timbul menunjukkan hasil yang baik, tidak terdapat osilasi menunjukkan algoritma kendali prediktif dapat bekerja dengan baik. Dibanding dengan pengujian PI gagal pompa sebelumnya maka kontrol prediktif aktuator yang bekerja juga lebih halus, tidak ada pemancungan terhadap sinyal aktuasi sehingga kerja aktuator lebih ringan sehingga aktuator lebih awet.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari keseluruhan pembahasan dalam laporan ini, dapat disimpulkan sbb:

Penerapan uji kendali PI dan prediktif pada sistem dual reservoir telah dapat dilakukan, meliputi pengendalian SISO dan pengendalian terkoordinasi.

Sistem dual resevoir mempunyai karakteristik waktu tunda yang besar, sehingga kendali PI yang dihitung dengan korelasi Ciancone yang diterapkan tidak mampu meredam osilasi, sehingga diperlukan penalaan dengan cara memperbesar nilai K_c menjadi 5 sedang nilai T_i tetap sama sesuai perhitungan korelasi Ciancone.

Pada saat dilakukan skenario pengendalian dengan kegagalan salah satu pompa, respon pengendali PI menghasilkan osilasi yang cukup besar.

Pengendali prediktif metode *projected desired trajectories* yang diterapkan pada sistem dual reservoir mampu menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada pengendali PI saat dilakukan pada uji kendali SISO maupun uji kendali terkoordinasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, Tentang Kebijakan Energi Nasional
- [2] Zhe Dong, 2009, Water-Level Control for the U-Tube Steam Generator of Nuclear Power Plants Based on Output Feedback Dissipation
- [3] Man Gyun Na, 2001, Auto-Tuned PID Controller Using a Model Predictive Control Method for the Steam Generator Water Level
- [4] Thomas E. Marlin, 2000, Process Control Designing processes and Control Systems for Dynamic Performance, Mc Graw Hill
- [5] Martin, M.,1996, *Adaptive Predictive Control*, Prentice Hall, Department of Energy Systems School of Mining Engineering Technical University of Madrid.
- [4] Ogata, K., 1996, Teknik Kontrol Automatik Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- [5] Subiantoro, Aries, *Diktat Kuliah Sistem Kendali Adaptif* (Depok : Control System Research Group Jurusan Elektro FTUI, 2002)
- [6] Johnson Curtis D., 1997, Process Control Instrumentation Technology, Prentice hall, New Jersey.

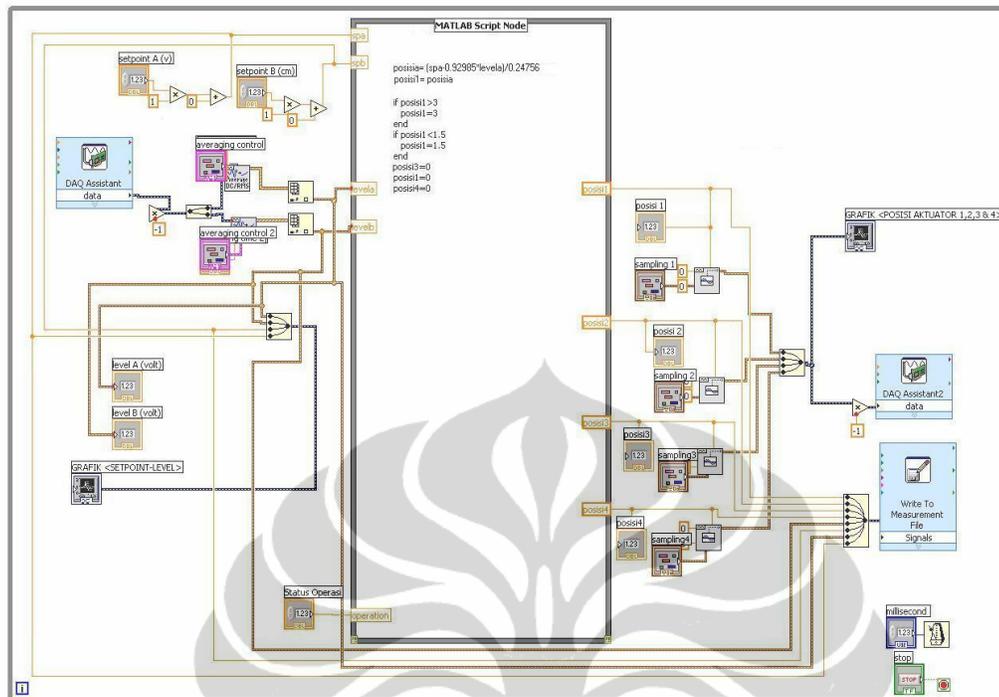


Diagram labview kontrol prediktif katup V1 reservoir A

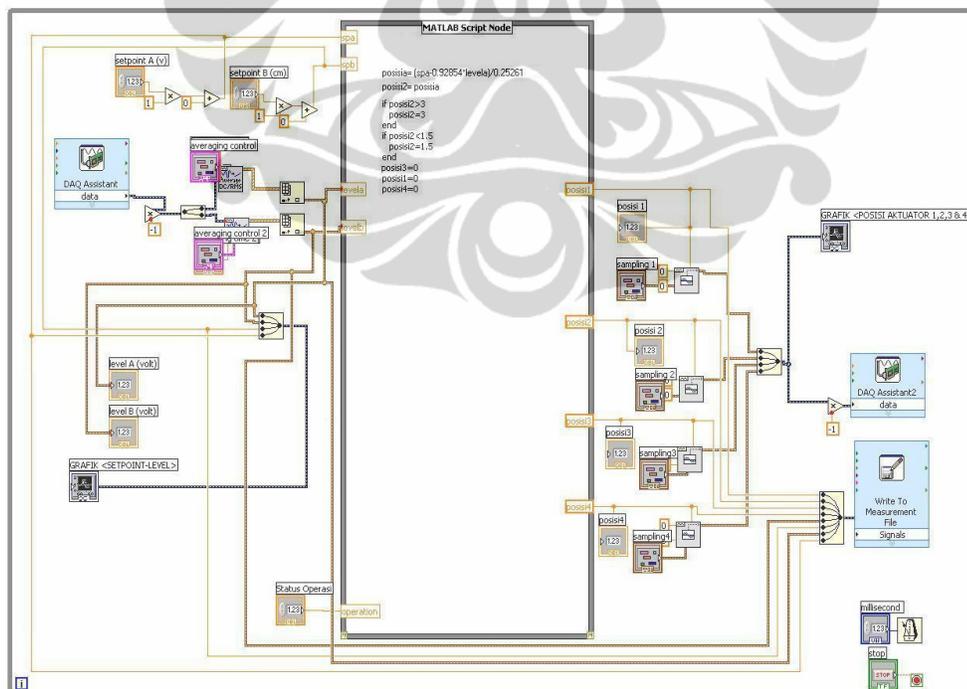


Diagram labview kontrol prediktif katup V2 reservoir A

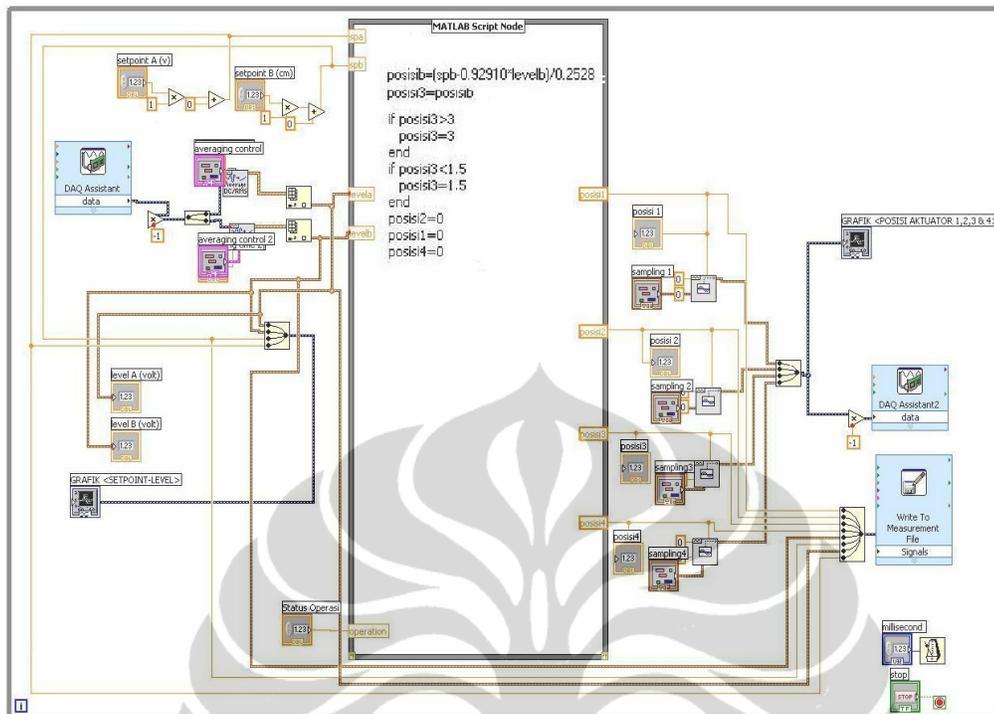


Diagram labview kontrol prediktif katup V3 reservoir B

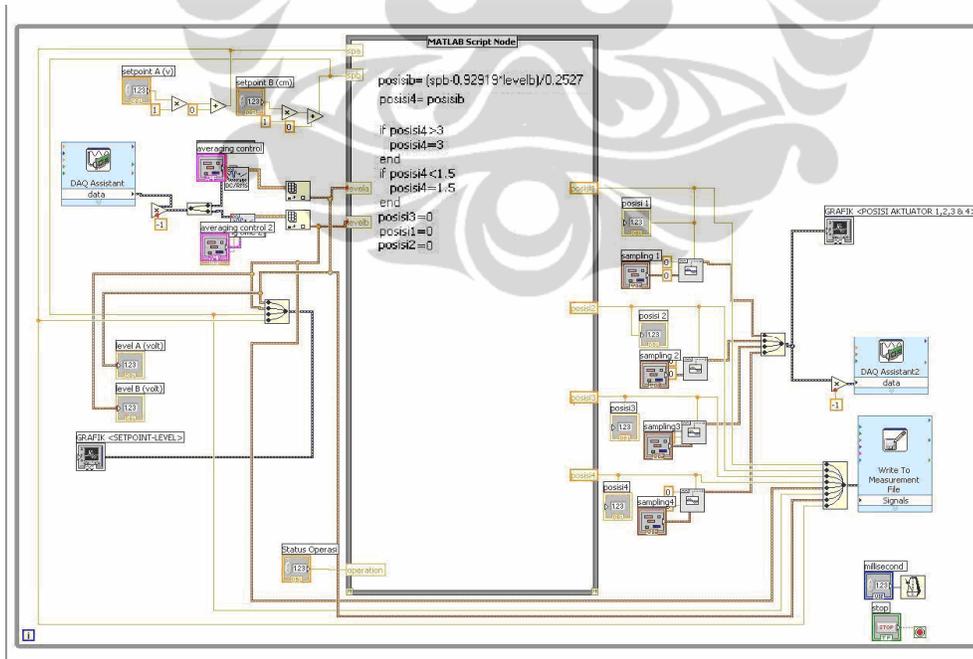


Diagram labview kontrol prediktif katup V4 reservoir B

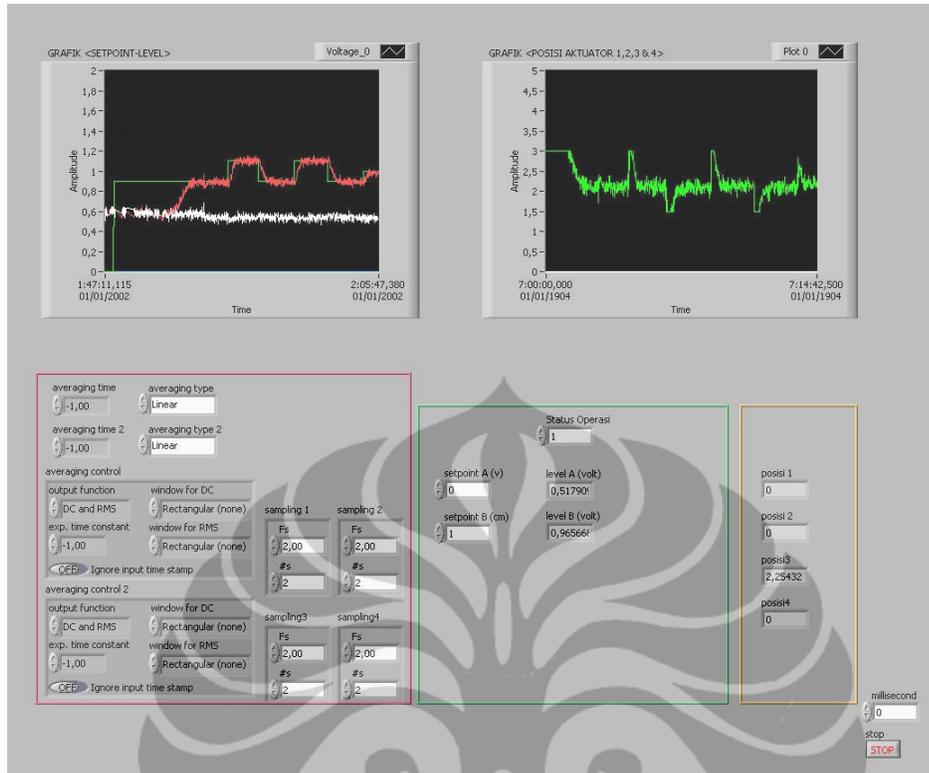


diagram labview gui prediktif

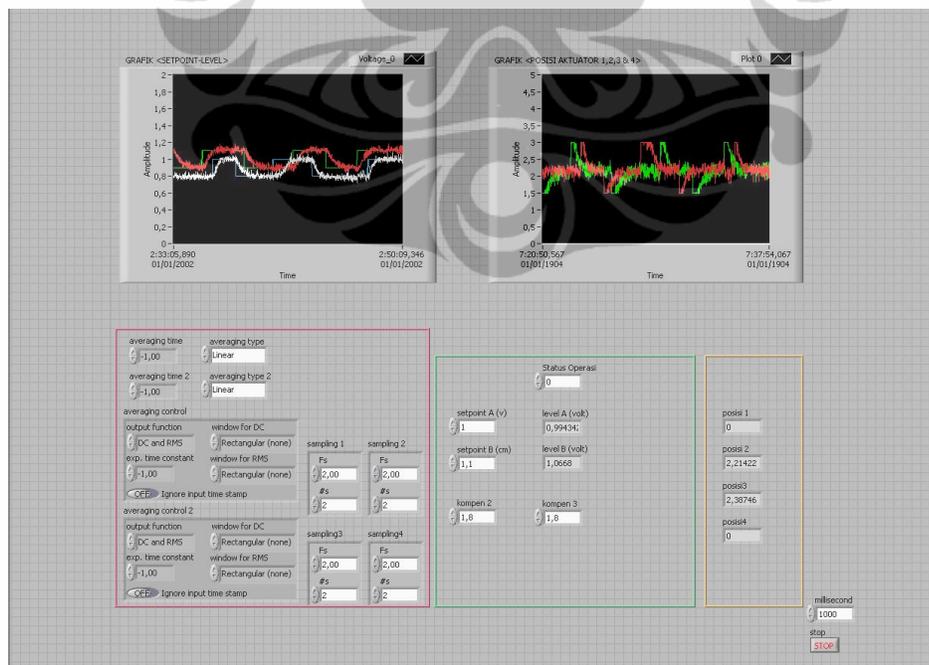


diagram labview gui prediktif v2 v3