

**PENGENDALI LEVEL CAIRAN
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK LABVIEW**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Kurikulum
Program Diploma 3 Instrumentasi Industri**

Oleh

**ARTA SASTRA RUMONDANG
2304220672**



**DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM D3 INSTRUMENTASI INDUSTRI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
2007**



“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

(Yeremia 29:11)

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : **Arta Sastra Rumondang**
NPM : **230 422 0672**
Jurusan : **Instrumentasi Industri**
Judul : **Pengendali Level Cairan dengan Menggunakan
Perangkat Lunak LabVIEW**
Pembimbing: **Drs. Arief Sudarmadji, M.T**

Laporan Tugas Akhir ini telah disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing,

(Drs. Arief Sudarmadji, M.T)

Penguji 1,

Penguji 2,

(Dr. Prawito)

(Drs. Lingga Hermanto, M.Si)

ABSTRAK

Dalam dunia industri, terdapat empat buah besaran fisis yang memiliki peranan sangat penting di dalam menerapkan proses pengendalian, yaitu level, temperatur, kecepatan aliran, dan tekanan. Laporan ini menjelaskan tentang aplikasi sistem kontrol sebagai pengendali level cairan, yaitu air. Dalam penelitian ini penggunaan metode PID (Proporsional Integral Derivatif) di dalam unit pengendali dianggap sebagai pilihan yang baik karena menggabungkan ketiga buah parameter dan unit pengendalian secara bersamaan dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Semua proses kontrol dan akuisisi data dilakukan dengan menggunakan komputer (PC). Pengujian sistem telah dilakukan untuk mengontrol level air dengan ketinggian antara 0 – 40 cm. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi parameter kontrol PID, yang diperoleh dari identifikasi proses menggunakan *tuning Direct Synthesis*, dengan input berupa fungsi step. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa parameter sistem level air adalah $PB = 225\%$, $K_p = 0,4438$, $T_i = 320$ ms, $T_d = 0$ ms.

Kata kunci : kontroler PID, sistem kontrol, LabVIEW.

KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Tuhan yang Mahakuasa, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Laporan ini merupakan hasil pengamatan kerja penulis selama satu semester, yaitu semester ke-enam.

Penyusunan laporan ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung keadaan di lapangan dan mendapatkan informasi dari pembimbing selama praktik yang diharapkan dapat memperluas wawasan mahasiswa. Laporan ini merupakan bukti akan hal-hal yang telah dilakukan selama masa praktik. Adapun dalam laporan ini kami cantumkan proses pengendalian.

Dalam penulisan laporan ini, kami tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan yang Mahakuasa yang selalu menjaga kesehatan jasmani maupun rohani dan memberikan hikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Papa dan Mama tercinta yang memberikan 3D (Dukungan, Dana, dan Doa), serta adik-adikku tersayang (Indah, Vera, Marisa, dan Deborah).
3. Satu-satunya kekasihku, Firnando Sianturi, yang setia dalam memberikan semangat untuk menyelesaikan laporan ini. Dengan ketulusan cinta dan kasih sayangnya membuat penulis selalu bersemangat. Cinta dan sayang selalu tercurah untuknya.
4. Bapak Drs Arief Sudarmaji, M.T selaku dosen pembimbing yang sabar dalam membimbing dan mengarahkan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak DR. Prawito sebagai Ketua Jurusan D3 Instrumentasi.
6. Bapak Surya Dharma, S.Si selaku Koordinator Tugas Akhir Program D3 Instrumentasi.
7. Dosen-dosen pengajar Jurusan Instrumentasi Elektronika dan Industri.
8. Seluruh rekan-rekan Instrumentasi Industri dan Elektronika angkatan 2004.
9. Seluruh keluarga besar PO FMIPA UI, khususnya AKK (Maya, Elyana, Meliana, Nopa, dan Devita) dan A-bid2 (Eka, Othe, Wandy).

10. Semua pihak yang belum dan tidak mungkin untuk disebutkan di sini.

Terimakasih untuk semuanya

Pada akhirnya penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tidak akan luput dari kekurangan dan kealpaan yang masih perlu dibenahi. Kritikan dan masukan dari pembaca akan menjadi sebuah masukan yang berarti bagi perbaikan laporan ini sehingga dapat lebih bermanfaat bagi setiap pembaca.

Penulis,

Arta Sastra Rumondang



DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 PEMBATAHAN MASALAH.....	2
1.4 METODE PENELITIAN.....	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 SISTEM KONTROL.....	6
2.1.1 Aksi Kontrol <i>on-off</i>	11
2.1.2 Aksi Kontrol Proporsional (P).....	11
2.1.3 Aksi Kontrol Integral (I).....	12
2.1.4 Aksi Kontrol Diferensial (D).....	14
2.1.5 Aksi Kontrol PI.....	15
2.1.6 Aksi Kontrol PD.....	17
2.1.7 Aksi Kontrol PID.....	18
2.1.7.1 Unit Pengendali PID Dengan Struktur <i>Mix</i>	20
2.2 POMPA AIR DC.....	21
2.3 SENSOR DPS.....	23
2.4 PORT PARALEL.....	24

BAB 3 PERANCANGAN DAN CARA KERJA PROGRAM

3.1	PERANCANGAN PERANGKAT KERAS.....	26
3.1.1	<i>Personal Computer (PC)</i>	27
3.1.2	Antarmuka Paralel.....	27
3.2	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK.....	28
3.2.1	Rangkaian <i>Interfacing</i>	28
3.2.2	Rangkaian PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	29
3.1.3	Program LabVIEW.....	30
3.2.3.1	Operasi Start/Stop.....	30
3.2.3.2	Operasi PID.....	30
3.2.3.3	Komunikasi Paralel.....	34
3.2.3.4	Penyimpanan Data.....	34
3.3	<i>Flowchart</i> LabVIEW.....	35

BAB 4 PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA PENELITIAN

4.1	IDENTIFIKASI PROSES.....	36
4.2	PENGUJIAN SISTEM.....	38
4.2.1	Pengujian PID pada <i>Set Point</i> 40%.....	39
4.2.2	Pengujian PID pada <i>Set Point</i> 50%.....	40
4.2.3	Pengujian PID pada <i>Set Point</i> 60 %.....	41
4.3	ANALISA DATA PENELITIAN.....	42

BAB 5 PENUTUP

5.1	KESIMPULAN.....	43
5.2	SARAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Blok Komponen Dasar Sistem Kontrol.....	7
Gambar 2.2. Diagram Blok Prinsip Sistem Kontrol.....	8
Gambar 2.3. Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Terbuka	9
Gambar 2.4. Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Tertutup.....	10
Gambar 2.5. Grafik Sistem Kontrol <i>on-off</i>	11
Gambar 2.6. Blok Diagram Aksi Kontrol Proporsional.....	11
Gambar 2.7. Grafik Respon Aksi Kontrol Proporsional	12
Gambar 2.8. Blok Diagram Aksi Kontrol Integral	13
Gambar 2.9. Grafik Respon Aksi Kontrol Integral.....	13
Gambar 2.10. Grafik Sistem Kontrol Diferensial.....	14
Gambar 2.11. Blok Diagram Aksi Kontrol PI.....	15
Gambar 2.12. Sinyal <i>Error</i> $e(t)$ Unit Pengendali.....	15
Gambar 2.13. Grafik Respon Aksi Kontrol PI.....	16
Gambar 2.14. Blok Diagram Aksi Kontrol PD.....	17
Gambar 2.15. Sinyal <i>Error</i> $e(t)$ Unit pengendali.....	17
Gambar 2.16. Grafik Respon Aksi Kontrol PD.....	18
Gambar 2.17. Blok Diagram Unit Pengendali PID.....	18
Gambar 2.18. Grafik Respon Unit Pengendali PID.....	19
Gambar 2.19. Blok Diagram Unit Pengendali PID Dengan Struktur <i>Mix</i>	20
Gambar 2.20. Grafik Respon Unit Pengendali PID Dengan Struktur <i>Mix</i>	20
Gambar 2.21. Konstruksi Pompa Sentrifugal	21
Gambar 2.22. Model Pompa Air.....	22
Gambar 2.23. Elemen Sensor DPS.....	22
Gambar 2.24. Karakteristik Sensor DPS.....	23
Gambar 2.25. Konfigurasi Konektor DB-25.....	24
Gambar 3.1. Blok diagram sistem pengendalian.....	26
Gambar 3.2. <i>Plant</i>	26
Gambar 3.3. Proses Pengendalian Level.....	27

Gambar 3.4. Rangkaian <i>Interfacing</i>	28
Gambar 3.5. Sinyal PWM dengan <i>duty cycle</i> (a) 50% dan (b) 25%	29
Gambar 3.6. Operasi Start/Stop.....	30
Gambar 3.7. Blok Proses Feedback Control.....	30
Gambar 3.8. Blok MV dengan Metode Mix.....	31
Gambar 3.9. (a) Numeric Control pada Front Panel	
(b) Numeric Control pada Block Diagram.....	32
Gambar 3.10. Operasi dari persamaan.....	32
Gambar 3.11. operasi add array element.....	32
Gambar 3.12. Operasi Integral.....	33
Gambar 3.13. Operasi Shift Register.....	33
Gambar 3.14. Operasi Persamaan ($E_n - E_{n-1}$).....	33
Gambar 3.15. (a) <i>out port</i> dan (b) <i>in port</i>	34
Gambar 3.16. Program Penyimpanan Data.....	34
Gambar 3.17. Gambar Flowchart Program LabVIEW.....	35
Gambar 4.1. Grafik Identifikasi Proses.....	37
Gambar 4.2. Respon pada <i>set point</i> 40% menggunakan LabVIEW.....	39
Gambar 4.3. Respon pada <i>set point</i> 50% menggunakan LabVIEW	40
Gambar 4.4. Respon pada <i>set point</i> 60% menggunakan LabVIEW.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Alamat (<i>Base Address</i>) Pada Port Paralel (LPT).....	25
Tabel 2.2. Fungsi dari masing-masing pin pada konektor DB-25.....	25
Tabel 3.1. Koneksi Port Paralel dengan Perangkat Keras.....	37



BAB 1

PENDAHULUAN

Isi dari bab ini antara lain yaitu latar belakang penelitian, tujuan penelitian, pembatasan masalah penelitian, dan metode penelitian yang dilakukan oleh penulis, serta sistematika penulisan dari laporan penelitian.

1.1. LATAR BELAKANG

Secara garis besar dapat diuraikan bahwa kontrol berarti mengendalikan suatu variabel sistem yang akan dikontrol dengan menerapkan variabel yang dimanipulasi ke dalam suatu sistem dengan tujuan untuk membatasi atau memonitoring penyimpangan nilai yang diukur terhadap nilai yang dikehendaki. Tahap awal perkembangan suatu teori kontrol ditandai dengan adanya sebuah perubahan pada pola pikir manusia dalam menciptakan suatu perangkat kerja yang mampu memberikan penyelesaian dengan baik dan cepat terhadap beberapa permasalahan rumit yang berkaitan erat dengan aspek penting dalam melakukan suatu perubahan dan perbaikan kinerja dunia industri.

Teknik kontrol digital merupakan teknologi modern dalam teknik kontrol, kemampuannya untuk melaksanakan fungsi kontrol sangat baik. Keuntungan kontrol digital adalah kemampuan proses data yang akurat dan cepat, parameter dapat diatur dengan mudah, dan diterapkan sebagai pengendalian secara tersebar. Di dalam dunia industri terdapat empat buah besaran fisis yang memiliki peranan sangat penting dalam menerapkan proses pengendalian, yaitu level, temperatur, kecepatan aliran, dan tekanan. Selain penggunaan besaran fisis tersebut, mekanisme dan proses pengendalian yang berlangsung di dalam dunia industri tidak mungkin terbentuk tanpa berkaitan secara langsung dengan sebuah unit pengendali.

Penulis menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) di dalam unit pengendali dianggap sebagai pilihan yang baik karena menggabungkan ketiga buah parameter dan unit pengendalian secara bersamaan.

Hal krusial dalam desain kontroler PID ialah *tuning* atau pemberian parameter P, I, dan D agar didapatkan respon sistem yang diinginkan. Salah satu metode yang muncul ialah *tuning* berdasar model *plant*, karena identifikasi plant bukan lagi hal yang sulit untuk dilakukan. Salah satu jenisnya ialah *Direct Synthesis* yang memerlukan model *plant* sebenarnya dan model *plant* yang diinginkan untuk mendapatkan parameter P, I, D dari kontroler.

Mengingat terbatasnya perangkat perkuliahan di lingkungan Universitas Indonesia yang mampu mendekatkan mahasiswa ke dalam dunia industri maka penulis berupaya untuk melakukan suatu bentuk penelitian dalam skala laboratorium terhadap adanya proses pengendalian level cairan di dalam sebuah sistem dengan menerapkan suatu teknik kontrol dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW, sehingga pada nantinya dapat berguna untuk memahami penggunaan prinsip kontrol di dalam dunia industri.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu modul pengendali level cairan dalam skala laboratorium menggunakan perangkat lunak LabVIEW.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

Permasalahan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi 2 penyelesaian, yaitu secara *hardware* dan *software*. Pada kesempatan ini, penulis membatasi penelitian hanya pada penyelesaian secara *software*, yaitu dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW dan besaran yang dipilih adalah level cairan.

1.4 METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, terdapat beberapa metode penelitian yang telah dilakukan oleh penulis. Metode penelitian yang dimaksud, yaitu sebagai berikut:

A. Penelusuran Literatur dan Diskusi

Pada proses dan pelaksanaan penelitian ini metode penelusuran literatur dan diskusi dilakukan sebagai bahan acuan untuk menentukan metode awal dalam mendesain dan merancang konstruksi sistem dan perangkat dari unit pengendali yang akan digunakan. Penulis mencari informasi tentang

spesifikasi dan prinsip kerja dari proses pengendalian, mendapatkannya dari berbagai bahan referensi dan sumber pustaka, dan melakukan koordinasi secara langsung bersama dosen pembimbing dalam menentukan langkah selanjutnya dalam melakukan proses penelitian ini.

B. Pengumpulan Bahan Penelitian

Dalam metode pengumpulan bahan penelitian ini penulis melakukan serangkaian kajian dari beberapa tahapan dalam menentukan kerangka, bahan dasar, dan komponen pendukung lainnya yang mendukung berlangsungnya penelitian ini. Secara tidak langsung metode ini merupakan tahap awal dalam mendesain perangkat penelitian.

C. Perancangan dan Pembuatan Peralatan

Metode perancangan dan pembuatan peralatan merupakan metode yang paling penting yang dilakukan oleh penulis dalam kegiatan penelitian. Dalam metode tersebut penulis melakukan kegiatan perancangan desain sistem sampai pada tahap pembuatan peralatan sesuai dengan tujuan penulis melakukan kegiatan penelitian ini.

D. Pengolahan Data, Analisa, dan Penulisan Laporan

Metode pengolahan data dan analisa merupakan metode yang berfungsi untuk mengolah data dan menganalisa berbagai macam data dari hasil pengukuran dari penelitian yang telah dilakukan sehingga dapat diperoleh kesimpulan untuk pengembangan lebih lanjut.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan tugas akhir pada kegiatan penelitian yang dilakukan oleh penulis akan disusun ke dalam urutan dan penggolongan bab-bab seperti yang diuraikan pada sistematika penulisan tugas akhir di bawah ini.

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan lembaran pertama dari laporan tugas akhir dan merupakan bagian pengantar dari kegiatan penelitian. Isi dari bab ini antara lain yaitu latar belakang penelitian, tujuan penelitian, pembatasan masalah penelitian, dan metode penelitian yang dilakukan oleh penulis, serta sistematika penulisan dari laporan penelitian.

BAB 2. LANDASAN TEORI

Bab ini berisi kajian teknis terhadap landasan teori yang digunakan penulis, sebagai bahan kajian dan referensi penelitian. Landasan teori yang diuraikan penulis pada bab ini, meliputi pembahasan tentang penggunaan sistem kontrol PID sebagai sebuah aksi kontrol, uraian tentang penerapan sensor DPS, pembahasan tentang mekanisme kerja pompa air, sebagian tentang *interfacing*, yaitu port paralel

BAB 3. RANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Bab ini berisi tentang uraian tentang rancangan dan cara kerja sistem dari objek pengendalian, desain unit pengendali PID dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW, dan perangkat pendukung yang berhubungan dengan kegiatan penelitian ini.

BAB 4. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan yang lebih berorientasi pada analisa dari beberapa data penelitian yang berisi hasil pengujian terhadap perangkat peralatan melalui beberapa tahapan dan proses pengamatan sesuai dengan alur metodologi penelitian yang telah dilakukan oleh penulis.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan dan saran penulis terhadap adanya kemungkinan untuk dilakukan pengembangan dan penyempurnaan perangkat penelitian selanjutnya.



BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini berisi kajian teknis terhadap landasan teori yang digunakan penulis, sebagai bahan kajian dan referensi penelitian. Landasan teori yang diuraikan penulis pada bab ini, meliputi pembahasan tentang penggunaan sistem kontrol PID sebagai sebuah aksi kontrol, uraian tentang penerapan sensor DPS, pembahasan tentang mekanisme kerja pompa air DC, sebagian tentang *interfacing*, dan *flowchart* dari perangkat lunak LabVIEW.

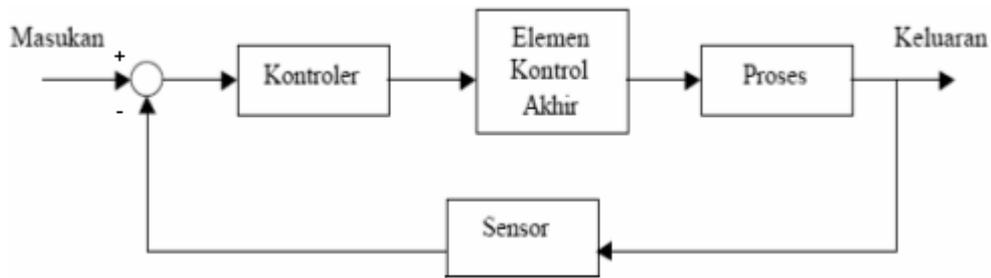
2.1 SISTEM KONTROL

Suatu sistem kontrol adalah suatu alat atau satuan alat untuk mengatur, memerintahkan, mengarahkan atau mengatur perilaku dari alat-alat atau sistem-sistem yang lain. Suatu sistem pengendali otomatis, yaitu sebuah unit pengendali pada prinsipnya akan bekerja sebagai perangkat yang dapat membandingkan nilai sebenarnya dari sebuah variabel keluaran obyek pengendalian secara keseluruhan, dengan mengacu pada variabel masukan (nilai yang dikehendaki), menentukan penyimpangan, dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang sangat kecil.

Komponen-komponen dasar sistem kontrol di antaranya proses, sensor, *transducer*, *transmitter*, kontroler, elemen kontrol akhir, dan *recorder*. Komponen-komponen tersebut melakukan tiga operasi dasar yang harus ada di setiap sistem kontrol. Operasi-operasi ini adalah:

1. *Measurement* (M) atau pengukuran, yaitu mengukur variabel yang dikontrol dengan mengkombinasikan sensor dan *transmitter*.
2. *Decision* (D) atau keputusan, didasarkan pada pengukuran, kontroler harus memutuskan apa yang harus dilakukan untuk menjaga variabel tersebut pada nilai yang diinginkan.

3. *Action* (A) atau aksi, sebagai hasil dari keputusan kontroler, biasanya dilakukan oleh elemen kontrol terakhir.



Gambar 2.1. Diagram Blok Komponen Dasar Sistem Kontrol

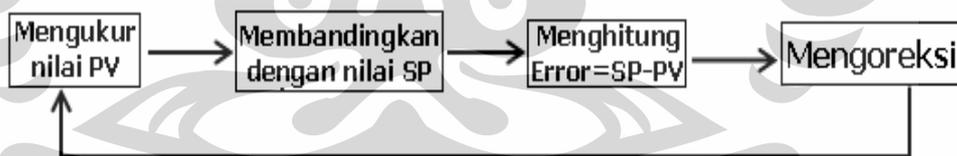
Mekanisme kerja dari sistem pengendali otomatis dalam menghasilkan sinyal kontrol, dinamakan sebagai aksi kontrol. Dalam mekanisme penerapan suatu aksi kontrol, dikenal beberapa istilah dan penjelasan tentang besaran-besaran yang ikut mempengaruhi keadaan dan sistem pengoperasian dari suatu unit pengendali otomatis. Berikut ini, merupakan definisi dari besaran-besaran yang terdapat pada sebuah aksi kontrol, seperti yang diuraikan penulis pada penjelasan berikut ini :

1. Sistem merupakan kombinasi dari beberapa komponen yang diinterpretasikan untuk bekerja secara bersamaan, untuk menghasilkan sasaran tertentu.
2. Proses didefinisikan sebagai suatu operasi yang sengaja dibuat, berlangsung secara terus menerus, serta terdiri atas beberapa aksi atau perubahan yang dikontrol dan diarahkan secara sistematis menuju suatu hasil atau keadaan akhir tertentu.
3. *Plant* didefinisikan sebagai seperangkat peralatan yang digunakan secara bersama-sama untuk melakukan suatu keadaan operasi tertentu. Setiap objek fisik yang dikontrol disebut dengan *plant*.
4. *Process Variable* (PV) merupakan suatu besaran yang akan diukur dan dikontrol dan berasal dari hasil pembacaan atau pemantauan terhadap proses sistem pengendalian. Pada keadaan normal, variabel yang akan dikontrol tersebut merupakan nilai keluaran dari sistem yang akan dikendalikan.

5. *Manipulated Variable* (MV) atau variabel yang *dimanipulasi* dapat didefinisikan sebagai suatu besaran atau keadaan yang diubah oleh suatu unit sistem pengendali untuk mempengaruhi nilai variabel yang dikontrol.
6. *Set Point* (SP) adalah suatu besaran yang dijadikan sebagai nilai acuan pada akhir proses. *Set point* dihasilkan melalui beberapa tahapan dengan mengoreksi dan membatasi terjadinya penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang dikehendaki dengan menerapkan nilai variabel yang *dimanipulasi* kedalam sistem yang dikontrol.
7. *Error* merupakan nilai yang didapat dari hasil selisih antara besaran SP (*Set Point*) dengan besaran PV (*Process Variable*).

Terdapat 4 bagian dalam suatu sistem kontrol, yang merupakan prinsip sistem kontrol, misalnya dalam suatu industri yaitu sebagai berikut:

1. Mengukur, yaitu mengamati ketinggian level atau dapat dikatakan mengukur proses variabel.
2. Membandingkan, yaitu membandingkan hasil pengukuran dengan nilai yang diinginkan (set poin).
3. Menghitung, yaitu memperkirakan seberapa banyak bukaan *valve*.
4. Mengoreksi, yaitu mengubah bukaan *valve* yang sesuai dengan hasil perbandingan dan perhitungan.



Gambar 2.2. Diagram Blok Prinsip Sistem Kontrol

Sistem kontrol dapat dikategorikan kedalam dua jenis struktur pengendalian, yaitu sistem kontrol *loop* terbuka (*Open Loop Control System*) dan sistem kontrol *loop* tertutup (*Closed Loop Control System*).

1. Sistem kontrol *loop* terbuka dapat didefinisikan sebagai sebuah sistem kontrol, dimana nilai variabel keluarannya tidak berdasarkan pada penggunaan prinsip aksi kontrol umpan balik atau dibandingkan dengan parameter masukan secara langsung pada saat berlangsungnya proses pengendalian.

Nilai variabel keluaran yang dihasilkan oleh sistem ini tidak akan ikut mempengaruhi terjadinya sebuah aksi kontrol, pada saat berlangsungnya proses pengendalian di dalam sebuah obyek pengendalian (*plant*).

Karena di dalam penerapan sistem ini tidak terjadi suatu proses umpan balik, sehingga mengakibatkan ketetapan dari sistem pada saat berlangsungnya proses pengendalian, memiliki sifat yang sangat tergantung terhadap adanya proses kalibrasi.

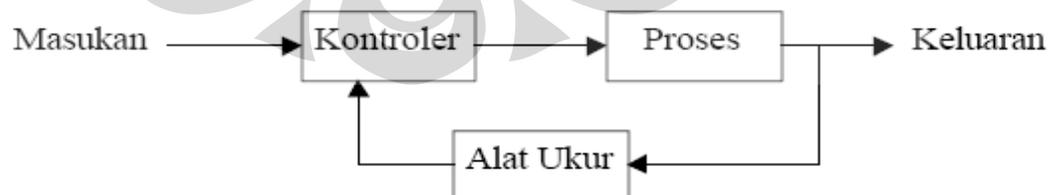
Sistem kontrol lup terbuka dapat digunakan secara efektif, apabila hubungan antara parameter masukan dan keluaran telah diketahui dengan pasti. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya gangguan saat aksi kontrol berlangsung. Struktur pada sistem kontrol lup terbuka, ditunjukkan melalui gambar berikut:



Gambar 2.3. Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Terbuka

2. Sistem kontrol lup tertutup dapat didefinisikan sebagai suatu bentuk penerapan aksi kontrol umpan balik, yang sangat berperan dan membantu dalam mengurangi adanya *error* yang diperoleh pada saat berlangsungnya proses pengendalian. Pada sistem loop tertutup, sinyal kesalahan atau perbedaan antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik akan dimasukkan kedalam suatu unit pengendali untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem pada nilai yang dikehendaki..

Struktur pada sistem kontrol lup tertutup, ditunjukkan melalui gambar berikut:



Gambar 2.4. Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Tertutup

Penerapan sistem kontrol lup tertutup bertujuan untuk menghasilkan sinyal *error* yang sangat kecil, melalui penggunaan metode sistem umpan balik antara besaran PV dan nilai SP, dimana proses pengaplikasian suatu unit pengendali

dengan menggunakan sistem ini, pada dasarnya akan bersifat otomatis, dengan besarnya sinyal respon yang dihasilkan akan sangat tergantung pada besarnya perubahan nilai MV terhadap variabel sinyal *error*.

Pada suatu sistem pengendali otomatis, diperlukan suatu komponen yang dapat berperan dalam melakukan proses pengukuran. Komponen tersebut akan tersusun pada unit-unit yang dijabarkan sebagai elemen pengukur (*sensor*) dan *actuator*. Sensor didefinisikan sebagai perangkat pengubah nilai variabel keluaran guna dapat dibandingkan dengan variabel acuan sinyal masukan. Elemen tersebut berada pada jalur umpan balik dari sistem kontrol lup tertutup. Sedangkan aktuator merupakan perangkat daya yang menghasilkan variabel masukan ke dalam *plant* sesuai dengan sinyal kontrol dan berguna untuk menghasilkan suatu sinyal umpan balik yang berkaitan langsung dengan variabel acuan sinyal masukan.

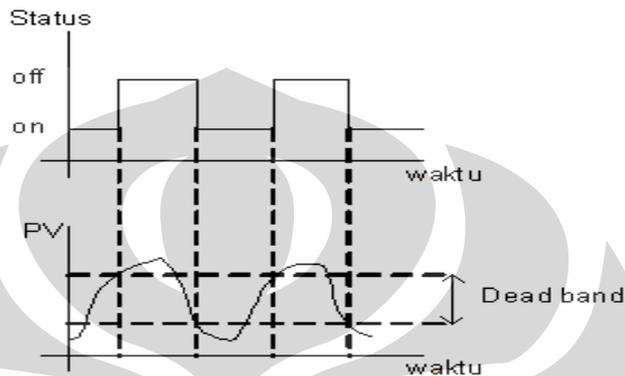
Terdapat tujuh aksi kontrol dasar yang biasa digunakan pada aplikasi dan penerapan teknik kontrol secara otomatis dalam industri, antara lain yaitu:

1. Aksi kontrol *on-off*
2. Aksi kontrol Proportional (P)
3. Aksi kontrol Integral (I)
4. Aksi kontrol Diferensial (D)
5. Aksi kontrol Proportional ditambah Integral (PI)
6. Aksi kontrol Proportional ditambah Diferensial (PD)
7. Aksi kontrol Proportional ditambah Integral ditambah Diferensial (PID)

Berikut ini, merupakan sebuah pembahasan dari bentuk-bentuk aksi pengontrolan menurut karakteristik dasar dan sifat pengendalian, dimana salah satu bentuk aksi kontrol tersebut, termasuk kedalam salah satu unit pengendali yang akan diimplementasikan kedalam obyek pengendalian yang akan dibuat dalam penelitian ini.

2.1.1 Aksi Kontrol *on-off*

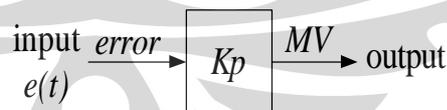
Sistem kontrol ini bekerja hanya pada 2 kondisi *on* dan *off*, misalnya *control valve* 0% dan 100%. Salah satu sifatnya ialah nilai PV akan bergelombang (tidak pernah konstan). Contoh dari sistem ini adalah setrika listrik. Adapun grafik antara nilai *process variable* yang diperoleh dengan waktu ialah sebagai berikut:



Gambar 2.5. Grafik Sistem Kontrol *on-off*

2.1.2 Aksi Kontrol Proporsional (P)

Pada dasarnya, aksi kontrol proporsional memiliki karakteristik dasar di dalam memperkuat sebuah sinyal masukan. Hal ini berkaitan dengan nilai variabel keluaran pada unit sistem pengendali yang berasal dari hasil perkalian antara sinyal masukan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai yang telah ditentukan. Berikut ini, merupakan gambar dari blok diagram unit pengendali proporsional, dimana besar output sebanding dengan input.



Gambar 2.6. Blok Diagram Aksi Kontrol Proporsional

Besarnya kecepatan dan laju respon sinyal keluaran yang dihasilkan oleh aksi kontrol pada unit pengendali proporsional akan sangat tergantung pada besarnya nilai konstanta proporsional (K_p). Rangkaian riil pengendali proporsional adalah inverting amplifier

Semakin besar nilai K_p akan menyebabkan semakin besarnya nilai penguatan (*Gain*) yang dihasilkan oleh sistem pengendali. Kenaikan nilai K_p

berfungsi untuk mempercepat kinerja proses pengendalian kearah nilai *set point* dan mengurangi terjadinya nilai *steady-state error* pada *plant*. Pada unit pengendali dengan aksi kontrol *proportional*, hubungan antara nilai masukan pengendali $u(t)$ dan sinyal *error* $e(t)$ adalah

$$u(t) = K_p e(t)$$

Hubungan K_p dengan *Propotional Band* adalah

$$K_p = \frac{100\%}{PB}$$

Karena sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh unit sistem pengendali proporsional adalah sebagai penguat sinyal masukan pada saat berlangsungnya proses pengendalian, maka hubungan antara nilai *Manipulated Variable* (MV) dan besarnya sinyal *error*, dapat digambarkan kedalam grafik respon berikut ini.



Gambar 2.7. Grafik Respon Aksi Kontrol Proporsional

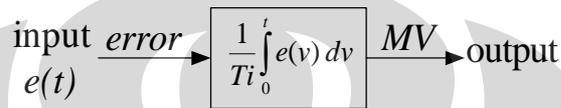
Meskipun peningkatan aksi kontrol yang terjadi pada unit pengendali proporsional sebanding dengan kenaikan nilai K_p , kenaikan nilai K_p yang terlampau tinggi akan menyebabkan terjadinya *over shoot* pada proses sistem pengendalian. Contohnya pada pengisian tangki penampung air, dimana besarnya aliran air berbanding terbalik pada level air yang ada.

2.1.3 Aksi Kontrol Integral (I)

Fungsi aksi kontrol integral ialah untuk mengatasi kekurangan pengendali proporsional yg gagal menghilangkan offset, namun dibutuhkan *error* untuk dapat bekerja. Salah satu sifatnya yaitu kemampuan bereaksi yang lambat, tergantung pada besarnya T_i . Rangkaian riil pengendali integral adalah integrator (menggunakan op-amp).

Pada aksi kontrol integral mekanisme pengoperasian dan pengaplikasiannya didalam teknik kontrol otomatis sering disebut dengan istilah *control reset*. Aksi kontrol integral memiliki peranan dan fungsi didalam mengintegalkan suatu bentuk sinyal masukan untuk kemudian dibandingkan dengan suatu konstanta atau besaran dengan nilai yang telah ditentukan. Sehingga sinyal keluaran yang dihasilkan sesuai dengan nilai yang dikehendaki.

Berikut ini, merupakan gambar blok diagram dari unit sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol integral.



Gambar 2.8. Blok Diagram Aksi Kontrol Integral

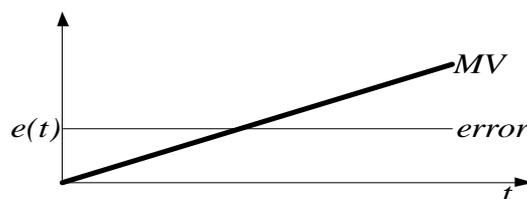
Hubungan antara nilai masukan unit pengendali $u(t)$ yang diubah mengikuti besarnya laju proporsional dari sinyal *error* $e(t)$, dengan T_i sebagai suatu besaran dari nilai konstanta pewaktu integral. adalah sebagai berikut.

$$u(t) = T_i \int_0^t e(v) dv$$

Bentuk persamaan matematis yang berlaku untuk menunjukkan adanya hubungan antara besarnya nilai variabel sinyal masukan (*Error*) dengan besarnya nilai *manipulated variable* (MV) sebagai nilai variabel keluaran pada aksi kontrol integral, adalah

$$MV = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(v) dv$$

Hubungan antara besarnya sinyal *error* terhadap variabel MV, dapat ditunjukkan melalui grafik respon berikut ini.

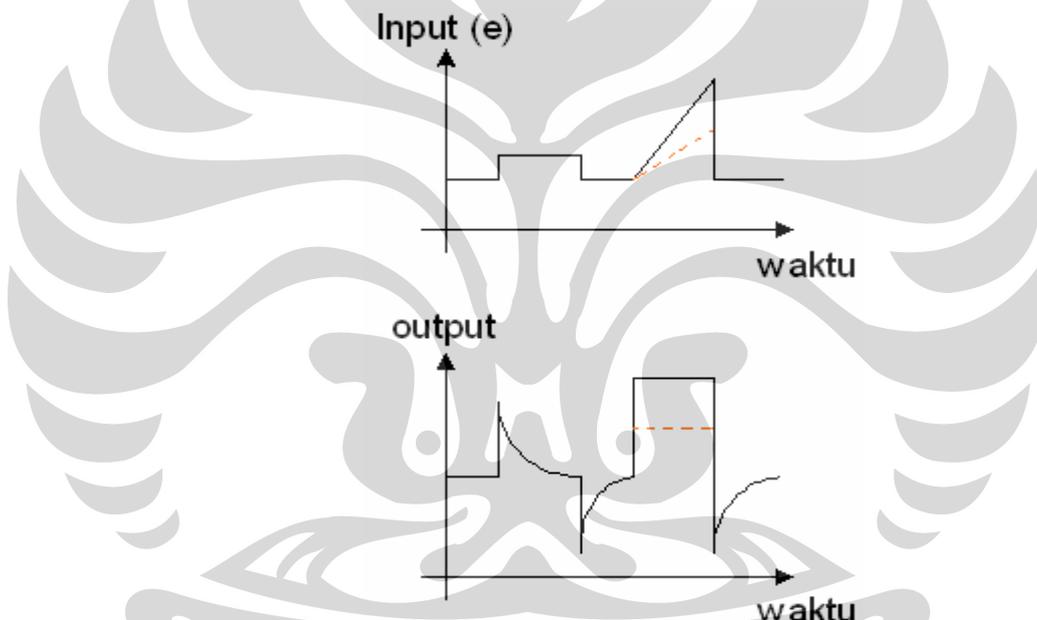


Gambar 2.9. Grafik Respon Aksi Kontrol Integral

Semakin kecil sinyal *error* yang dihasilkan oleh aksi kontrol integral, maka akan berakibat terhadap penurunan nilai *steady-state error* dan penurunan fungsi *integral* terhadap waktu. Pada aksi kontrol integral, suatu respon yang dihasilkan unit pengendali akan berada dalam kondisi optimal pada saat pengendali tersebut beroperasi pada daerah disekitar titik *set point* yaitu antara *steady-state error* dan *set point*.

2.1.4 Aksi Kontrol Diferensial (D)

Aksi kontrol Diferensial (Derivatife) sering disebut dengan istilah laju kontrol dengan besaran keluaran unit pengendali proporsional ke arah laju perubahan dari sinyal *error* (*Error*).



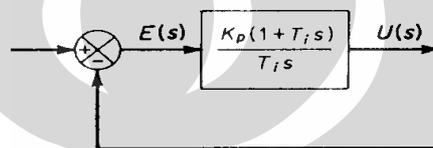
Gambar 2.10. Grafik Sistem Kontrol Diferensial

2.1.5 Aksi Kontrol Proporsional ditambah Integral (PI)

Aksi kontrol PI merupakan perpaduan antara dua buah aksi kontrol, yang dapat didefinisikan kedalam persamaan matematis berikut ini.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Dengan menggunakan nilai variabel K_p sebagai sebuah konstanta proporsional dan T_i sebagai sebuah konstanta pewaktu integral di dalam penggunaan persamaan matematis tersebut, maka nilai dari kedua konstanta telah dapat ditentukan. Konstanta pewaktu integral berfungsi dalam mengatur besarnya laju aksi kontrol integral yang beroperasi pada sistem pengendalian, sedangkan perubahan nilai konstanta proporsional akan berakibat terhadap laju kerja dari aksi kontrol proporsional maupun integral. Gambar 2.11 berikut ini, menunjukkan blok diagram unit pengendali dengan menggunakan aksi kontrol PI.



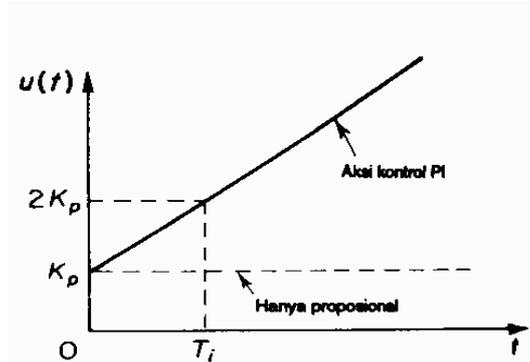
Gambar 2.11. Blok Diagram Aksi Kontrol PI

Besarnya sinyal error $e(t)$ adalah fungsi langkah-unit dari aksi kontrol ini, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12. Sinyal Error $e(t)$ Unit Pengendali

Besarnya sinyal respon atau laju sinyal keluaran yang dibangkitkan oleh unit sistem pengendali ini, akan ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Grafik Respon Aksi Kontrol PI

2.1.6 Aksi Kontrol Proporsional ditambah Diferensial (PD)

Aksi kontrol PD, dapat didefinisikan kedalam suatu bentuk penggunaan persamaan matematis berikut ini.

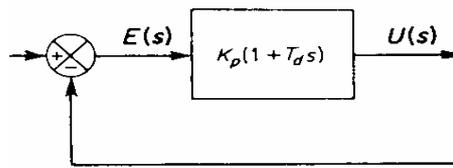
$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right)$$

Persamaan matematis yang dihasilkan oleh suatu sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol ini, dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

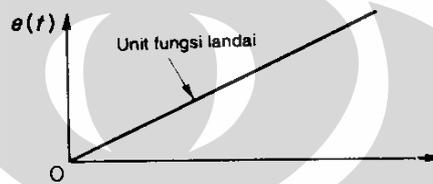
Dengan menggunakan besaran nilai K_p sebagai konstanta proporsional dan T_d sebagai konstanta pewaktu diferensial, maka nilai dari persamaan matematis yang dihasilkan oleh kedua konstanta tersebut dapat ditentukan.

Aksi kontrol diferensial (Derivatife) sering disebut dengan istilah laju kontrol dengan besaran keluaran unit pengendali proportional kearah laju perubahan dari sinyal *error*. Konstanta pewaktu diferensial (T_d) adalah waktu interval dengan laju aksi yang menggambarkan adanya suatu pengaruh pengendalian yang dihasilkan oleh aksi kontrol proporsional. Gambar 2.14 di bawah ini, menunjukkan blok diagram dari unit pengendali dengan aksi kontrol proporsional ditambah diferensial.



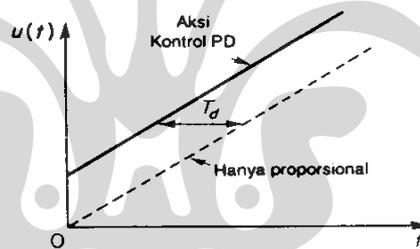
Gambar 2.14. Blok Diagram Aksi Kontrol PD

Jika sinyal *error* $e(t)$ merupakan fungsi landai dari unit sistem pengendali, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15. Sinyal *Error* $e(t)$ Unit pengendali

Maka keluaran dari aksi kontrol ini dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Grafik Respon Aksi Kontrol PD

Aksi kontrol turunan (Derivatife) memiliki karakter dan fungsi sebagai sebuah unit sistem pengendali yang mampu mengantisipasi terjadinya sinyal *error* didalam suatu proses pengendalian. Namun demikian, aksi kontrol turunan tidak dapat mengantisipasi aksi lain yang belum pernah dilakukan. Kelemahan dari aksi kontrol ini dapat diketahui pada saat terjadinya gangguan sinyal penguatan yang bercampur (*Mix*) pada pembangkit (aktuator). Penggunaan dari aksi kontrol turunan ini hanya akan efektif apabila digunakan selama terjadinya periode *transient*, sehingga penerapan dari unit sistem pengendali ini tidak dapat digunakan secara terpisah.

2.1.7 Aksi Kontrol Proportional ditambah Integral Ditambah Diferensial

Aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol diferensial dapat dikombinasikan dan dihubungkan kedalam sebuah model unit sistem pengendali, yang sering disebut dengan istilah aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial (Unit Pengendali PID). Kombinasi ini memiliki lebih banyak keuntungan dibanding penerapan masing-masing unit pengendali secara terpisah.

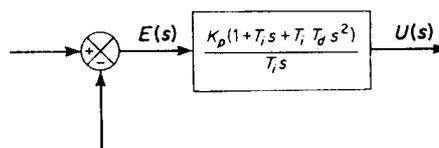
Persamaan matematis yang dihasilkan oleh ketiga kombinasi dari masing-masing unit pengendali dengan menggunakan aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial (Unit Pengendali PID), ditunjukkan dalam penggunaan suatu variabel dibawah ini.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Bentuk persamaan matematis atau fungsi alih dari unit sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial (Unit Pengendali PID) adalah sebagai berikut.

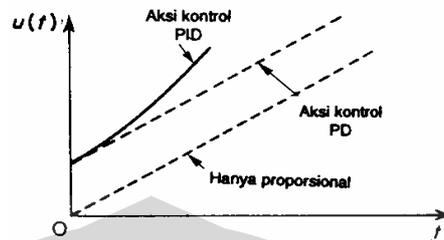
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Dengan menggunakan variabel nilai K_p sebagai konstanta proporsional, T_i sebagai konstanta pewaktu integral, dan T_d sebagai konstanta pewaktu diferensial, maka blok diagram dari penerapan unit sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial, dapat ditunjukkan melalui gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17. Blok Diagram Unit Pengendali PID

Jika $e(t)$ merupakan fungsi landai dari suatu unit sistem pengendali, maka sinyal respon keluaran yang dihasilkan oleh unit pengendali PID, akan ditunjukkan seperti gambar 2.18 di bawah ini.



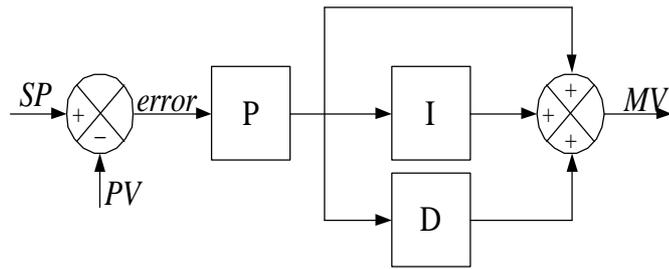
Gambar 2.18. Grafik Respon Unit Pengendali PID

Didalam sistem pengoperasian dan penggunaan unit sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol PID, terjadi pemisahan kerangka dasar atau struktur penyusun dari bentuk penggunaan masing-masing unit sistem pengendali secara terpisah.

Adapun bentuk-bentuk dari pemisahan penempatan struktur penyusun pada unit pengendali ini salah satunya struktur *mix*, seperti yang akan diuraikan pada pembahasan berikut ini.

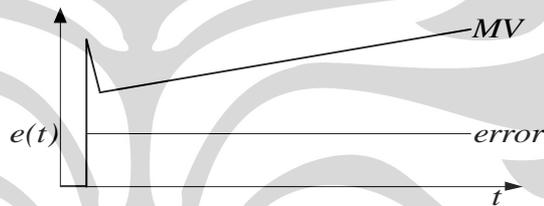
2.1.7.1 Unit Pengendali PID Dengan Struktur *Mix*

Unit pengendali PID digunakan dengan struktur *mix* merupakan kombinasi antara aksi kontrol aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial yang tersusun dan tergabung ke dalam penerapan pola rangkaian secara paralel dan seri. Dalam hal ini, aksi kontrol proporsional di dalam struktur *mix* pada unit pengendali PID tersusun secara seri terhadap sinyal pembangkit kesalahan (*error*) yang berfungsi sebagai nilai variabel masukan dari unit pengendali, sedangkan untuk aksi kontrol integral dan diferensial penempatan rangkaian dari unit pengendali tersebut, adalah tersusun secara paralel, dengan nilai variabel masukan merupakan nilai variabel keluaran dari aksi kontrol proporsional. Bentuk blok diagram unit pengendali PID dengan struktur *mix* ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19. Blok Diagram Unit Pengendali PID Dengan Struktur *Mix*

Grafik respon yang dihasilkan oleh suatu unit pengendali PID dengan menggunakan struktur *mix* dapat diketahui dengan membandingkan besarnya nilai variabel antara besaran *manipulated variabel* (MV) terhadap nilai sinyal pembangkit kesalahan (*error*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20 berikut ini.



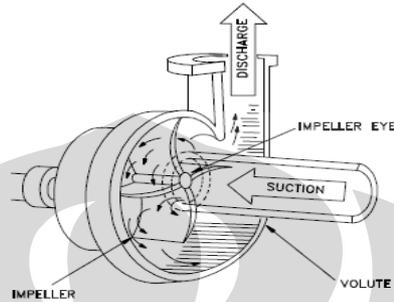
Gambar 2.20. Grafik Respon Unit Pengendali PID Dengan Struktur *Mix*

2.2 POMPA AIR

Pompa secara sederhana didefinisikan sebagai alat transportasi fluida cair. Pada hakekatnya pompa dibutuhkan karena tidak adanya energi yang dapat mengalirkan cairan dengan sendirinya. Pada prinsipnya, terdapat beberapa metoda yang umum digunakan untuk melakukan proses penambahan energi, di antaranya melalui penggunaan *positive displacement* dan aksi sentrifugal yang dihasilkan melalui adanya pemakaian gaya luar.

Penerapan kedua metoda tersebut pada perangkat pemindah fluida, terbagi atas penggunaan perangkat yang menggunakan tekanan langsung pada fluida, serta penggunaan perangkat yang menggunakan momen puntir untuk membangkitkan rotasi. Pada prinsipnya, pergerakan fluida terjadi akibat adanya perpindahan energi.

Gaya pembawa yang secara umum diterapkan untuk mengalirkan fluida, terdiri atas gravitasi, displacement, gaya sentrifugal, gaya elektromagnetik, perpindahan momentum, impuls mekanik, atau kombinasinya. Berikut ini, merupakan konstruksi mekanik dari sebuah pompa sentrifugal, yang ditunjukkan pada gambar 2.21.



Gambar 2.21. Konstruksi Pompa Sentrifugal

Terdapat dua macam spesifikasi pompa, yaitu *positive displacement pump* dan pompa sentrifugal. Pada *positive displacement pump*, volume tertentu dari zat cair akan terperangkap dalam suatu ruangan yang secara bergantian akan diisi melalui bagian pemasuk dan dikosongkan pada tekanan yang lebih tinggi melalui bagian pembuang.

Pada pompa sentrifugal, energi mekanik zat cair ditingkatkan melalui penggunaan aksi sentrifugal. Pompa ini paling banyak digunakan di pabrik. Pada pompa ini, densitas fluida memiliki nilai yang konstan dan besar, perbedaan tekanan biasanya cukup besar, dan memiliki konstruksi yang kuat. Hal tersebut berkaitan dengan fungsi pompa tersebut, dalam memberikan dan menghasilkan energi yang diperlukan untuk menarik zat cair dari sumber dan membuatnya mengalir dengan laju alir volumetrik yang konstan pada waktu keluar pada ketinggian tertentu di atas pompa.

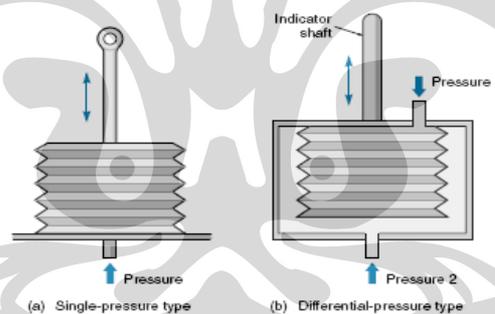


Gambar 2.22. Model Pompa Air

2.3 SENSOR DPS

Sensor dibuat untuk mempermudah manusia untuk melakukan segala sesuatu dengan mudah, cepat, praktis, dan efisien. Sensor adalah peralatan yang dipergunakan untuk mendeteksi ataupun mengukur ukuran dari sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, kimia, panas, dan magnetis menjadi arus dan tegangan listrik. Sensor umumnya dikategorikan menurut apa yang diukur dan sangat berperan penting dalam proses pengendali manufaktur modern.

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk memonitor ketinggian air ialah sensor DPS. Fungsi dari sensor DPS (*Differential Pressure Sensor*) adalah untuk menginformasikan dan mendeteksi perubahan level atau ketinggian fluida dengan memanfaatkan tekanan yang dihasilkan fluida. Sensor DPS yang digunakan pada penelitian ini, merupakan sensor DPS tipe 24PCBFA2D, buatan Honeywell USA. Cara kerjanya dengan memanfaatkan perubahan nilai resistansi yang diakibatkan oleh adanya tekanan pada lapisan membran sensor (piezoresistansi), untuk kemudian dikonversi ke dalam bentuk tegangan.



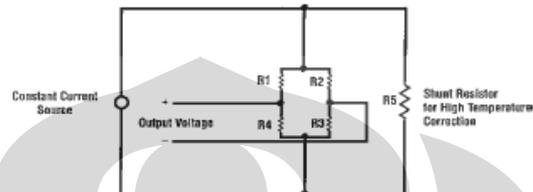
Gambar 2.23. Elemen Sensor DPS

Pada penelitian ini, perubahan tekanan yang dihasilkan akan mengakibatkan adanya perubahan nilai resistansi yang dialami oleh sensor DPS, dan hal ini akan digunakan untuk mengukur ketinggian level fluida pada obyek pengendalian. Sensor tersebut akan diletakkan pada sebuah pipa berbentuk tabung silinder.

Pipa silinder dibuat vakum (hampa udara) untuk menghindari adanya pengaruh yang ditimbulkan oleh tekanan lingkungan. Hal yang perlu diperhatikan pada proses pemasangan sensor DPS, terletak pada penempatan posisi dari kedua lubang sensor. Apabila penempatan lubang sensor berada dalam posisi yang terbalik, maka sinyal keluaran (tegangan) yang dihasilkan oleh sensor akan

bernilai negatif, sedangkan apabila lubang sensor yang ditempatkan berada dalam posisi yang sebenarnya, maka sinyal keluaran (tegangan) yang dihasilkan oleh sensor akan bernilai positif.

Penyebabnya ialah mekanisme kerja dari sensor DPS yang sering diasumsikan sebagai sebuah rangkaian jembatan (*wheatstone bridges*), seperti yang ditunjukkan oleh penulis melalui gambar 2.24.



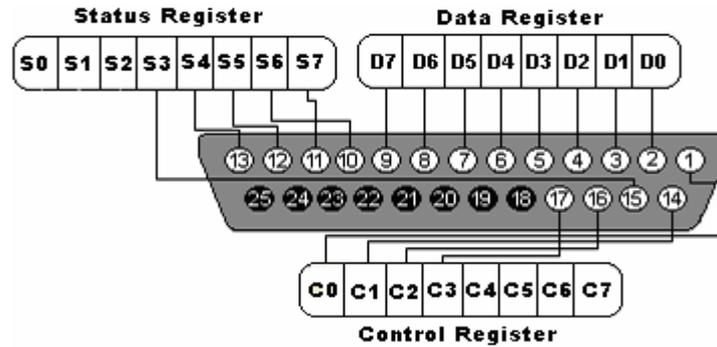
Gambar 2.24. Karakteristik Sensor DPS

2.4 PORT PARALEL

Port paralel biasanya dikenal sebagai port pencetak (*printer*), terdapat pada komputer (PC), dan memiliki bentuk konektor DB-25 (*female*). Biasanya digunakan untuk menghubungkan perangkat komputer (LPT) dengan perangkat printer (komunikasi paralel). Keunggulan di dalam melakukan pengiriman data, walaupun memiliki jumlah kabel yang relatif lebih banyak, namun waktu pengiriman yang sangat cepat dibanding port serial.

Prinsipnya terbagi kedalam tiga bagian, yaitu sebagai berikut *Data Port* (DP), fungsinya mengirimkan data yang harus dicetak oleh printer; *Printer Control* (PC), fungsinya mengirimkan kode-kode kontrol dari komputer (PC) ke dalam printer; dan *Printer Status* (PS), fungsinya mengirimkan kode atau status printer ke dalam komputer (PC).

Penggunaan port paralel yang ditempatkan pada sebuah komputer (PC), akan selalu identik dengan pemakaian konektor DB-25. Berikut ini merupakan konfigurasi pin pada konektor DB-25.



Gambar 2.25. Konfigurasi Konektor DB-25

Untuk dapat menggunakan port paralel (LPT), diperlukan adanya sebuah alamat. *Port* LPT 1 akan dapat diakses apabila alamat *port* tersebut pada komputer diketahui. Cara mengakses *port* ini tentunya dengan *software*. Alamat (*base address*) yang biasa digunakan untuk menandai penggunaan port paralel (LPT1) adalah 888 (378H). Berikut ini, merupakan tabel alamat untuk masing-masing port.

Tabel 2.1. Alamat (Base Address) Pada Port Paralel (LPT)

Port	Alamat Register
Data Port (DP)	378H (888)
Printer Status (PS)	379H (889)
Printer Control (PC)	37AH (890)

Pada prinsipnya, ketiga bagian port tersebut sebenarnya adalah port-port delapan bit. Port ini, terdiri dari empat (4) jalur kontrol, lima (5) jalur status, dan delapan (8) jalur data. Port PC dan DP merupakan port baca dan tulis (*read/write*), kecuali port PS yang hanya berfungsi sebagai port baca.

Untuk keterangan selengkapnya mengenai kondisi dan fungsi dari masing-masing pin pada konektor DB-25 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Fungsi dari masing-masing pin pada konektor DB-25

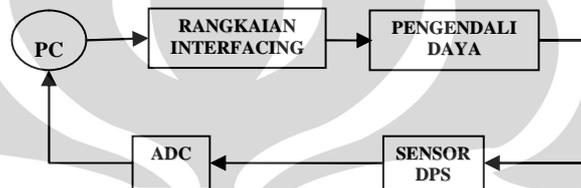
Pin DB-25	Nama	Fungsi	Keterangan
1	Data Strobe	Active LOW	Printer Control 0 (PC-0)
2	Data Bit 1	LSB	Data Port 0 (DP-0)
3	Data Bit 2	-	Data Port 1 (DP-1)
4	Data Bit 3	-	Data Port 2 (DP-2)
5	Data Bit 4	-	Data Port 3 (DP-3)
6	Data Bit 5	-	Data Port 4 (DP-4)
7	Data Bit 6	-	Data Port 5 (DP-5)
8	Data Bit 7	-	Data Port 6 (DP-6)
9	Data Bit 8	MSB	Data Port 7 (DP-7)
10	Acknowledge	Active LOW	Printer status 7 (PS-7)
11	Busy	Active HIGH	Printer status 6 (PS-6)
12	Paper End	Active HIGH	Printer status 5 (PS-5)
13	Select	Active High	Printer status 4 (PS-4)
14	Auto Line Feed	Active LOW	Printer control 1 (PC-1)
15	Error	Active LOW	Printer status 3 (PS-3)
16	Initialize Printer	Active LOW	Printer control 2 (PC-1)
17	Select Input	Active LOW	Printer control 3 (PC-1)
18 - 25	Return	Ground	-

BAB 3

PERANCANGAN DAN CARA KERJA PROGRAM

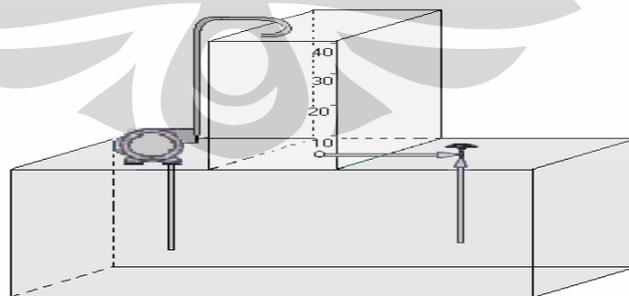
Bab ini berisi tentang uraian tentang rancangan dan cara kerja sistem dari objek pengendalian, desain unit pengendali PID dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW, dan perangkat pendukung yang berhubungan dengan kegiatan penelitian ini.

3.1 PERANCANGAN PERANGKAT KERAS



Gambar 3.1. Blok diagram sistem pengendalian

Gambar 3.1 menunjukkan blok diagram sistem pengendalian yang digunakan secara keseluruhan. Terlihat bahwa komputer (PC) yang menjadi otaknya, karena dalam PC terdapat kontroler PID yang dapat mengendalikan daya pompa. Daya akan mempengaruhi level air yang dapat diukur ketinggiannya oleh sensor. Setelah diperoleh data ketinggian, data tersebut dikirimkan melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) sehingga dapat dibaca oleh PC. Berikut ini gambar *plant* yang digunakan.

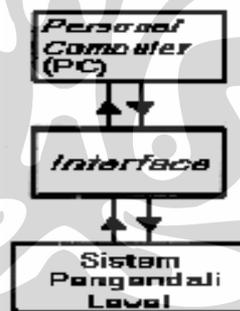


Gambar 3.2. *Plant*

Gambar 3.2 menunjukkan gambar dari sistem yang telah dibuat. *Plant* terdiri dari dua buah bejana yang terbuat dari bahan *acrylic*. Bejana bagian bawah merupakan tempat penampungan air yang berukuran 80 x 20 x 40 cm. Bejana bagian atas berfungsi sebagai *plant* yang diatur ketinggian airnya (*level*), yang berukuran 20 x 20 x 40 cm. Sebuah pompa berfungsi untuk menaikkan air dari tangki penampungan ke dalam bejana bagian atas. Pompa air akan mulai bekerja atau berhenti bekerja apabila telah mencapai level yang diinginkan oleh kontroler PID melalui *Personal Computer* (PC). Spesifikasi pompa yang digunakan adalah 24 V_{DC}, 3 A.

3.1.1. *Personal Computer* (PC)

Pada perancangan sistem ini PC merupakan salah satu komponen penting, sebab pada PC ini terdapat perancangan *software* yang digunakan pada penelitian ini. Bahasa pemrograman yang terdapat pada PC ini yaitu menggunakan LabVIEW yang digunakan sebagai bahasa pemrograman untuk pengendalian sistem kontrol PID. Hal tersebut ditunjukkan dari gambar berikut :



Gambar 3.3. Proses Pengendalian Level

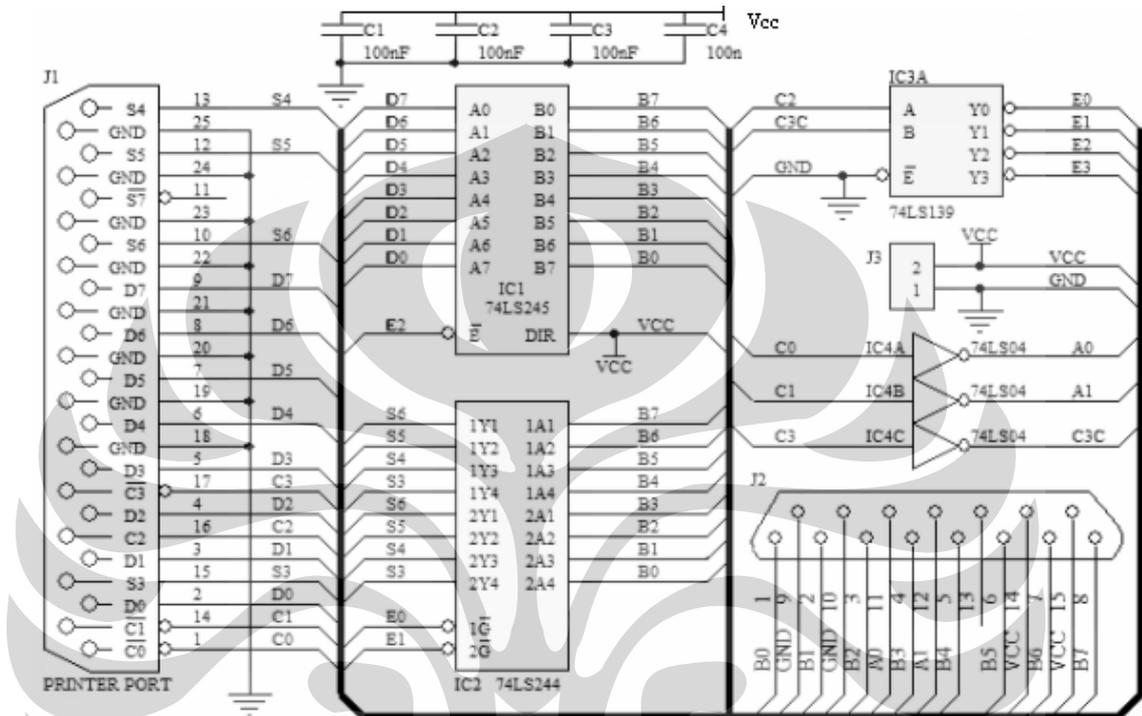
3.1.2. Antarmuka Paralel

Dibutuhkan adanya jalur komunikasi data antara komputer (PC) dengan sistem yang digunakan, di dalamnya terjadi proses penerimaan dan pengiriman data. Adapun proses penerimaan dan pengiriman data tersebut melalui port paralel (LPT) yang mempunyai alamat 0x378H atau 888. Dimana pada komputer menggunakan slot DB-25 yang terdapat di belakang komputer. Keunggulan *port* ini terletak pada kemampuannya untuk menyampaikan data lebih cepat, karena *port* ini menggunakan komunikasi secara paralel.

3.2 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

3.2.1 Rangkaian *Interfacing*

Rangkaian *Interfacing* dibutuhkan untuk komunikasi data dengan *hardware* yang digunakan (baik mengirim maupun menerima data). Adapun rangkaian *interfacing* yang digunakan ialah sebagai berikut:



Gambar 3.4. Rangkaian *Interfacing*

Rangkaian *Interfacing* di atas berfungsi untuk menyatukan dua *protocol* yang berbeda, antara *hardware* dengan PC yang digunakan. Adapun jalur yang digunakan adalah port paralel. Seperti pada tabel di atas, port printer memiliki 8 pin yang berfungsi sebagai data output dan 4 pin yang berfungsi sebagai data input yang bersifat normal. Yang dimaksud dengan normal ialah bahwa kondisi data yang masuk ke *printer port* sama dengan kondisi data yang dikeluarkan oleh *hardware*. Berbeda dengan sifat *inverting* yang mengandung pengertian bahwa kondisi yang masuk ke *printer port* kondisinya berkebalikan dengan kondisi yang dikeluarkan oleh *hardware*. Dalam perancangan rangkaian *interfacing* ini menggunakan 8 jalur data output dan 4 jalur input normal sebagai jalur pengiriman dan penerimaan data dari *hardware* yang digunakan.

Untuk jalur pengiriman data menggunakan IC 74LS245. Lajur D (D0-D7) terhubung dengan port paralel sedangkan lajur B (B0-B7) terhubung dengan *hardware* luar. Terlihat pula bahwa jalur DIR terhubung dengan Vcc. Maksudnya agar data berjalan dari lajur B menuju lajur A. Sedangkan lajur Enable (E), yang dapat dikendalikan dari PC berfungsi sebagai penentu kapan data akan dialirkan. Jika kondisinya *low* maka data akan dialirkan.

Untuk jalur pengiriman data menggunakan IC 74LS244, yang dapat membagi 8 bit data menjadi 4 bit data yang dikirim secara bertahap, yang dikendalikan oleh PC dan yang dialirkan oleh pin *Enable 0* (E0) untuk pengiriman 4 bit data pertama kemudian 4 bit data selanjutnya dialirkan oleh pin *Enable 1* (E1).

3.2.2 Rangkaian PWM (Pulse Width Modulation)

PWM adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengontrol kerja dari suatu alat atau menghasilkan suatu tegangan DC yang bervariasi. Rangkaian PWM adalah rangkaian yang lebar pulsa tegangan keluarannya dapat diatur atau dimodulasi oleh sebuah sinyal tegangan modulasi. Di samping itu kita menghasilkan suatu sinyal PWM dengan menentukan frekuensi dan waktu dari variabel on dan off. Gambar 2.5 memperlihatkan sinyal kotak dengan variasi *duty cycle* 75 % dan 25%. *Duty cycle* adalah rasio dari waktu on (t_{on}) terhadap periode total dari sinyal ($t = t_{on} + t_{off}$), dengan persamaan berikut :

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$



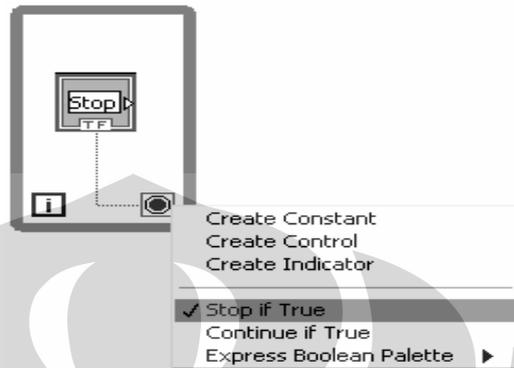
Gambar 3.5. Sinyal PWM dengan *duty cycle* (a) 50% dan (b) 25%

Metode pengontrol output ini dapat diaplikasikan dalam kecepatan motor DC pada pompa yang digunakan yang terdapat pada rangkaian mekanik.

3.2.3 Program LabVIEW

3.2.3.1 Operasi Start/Stop

Program yang telah dibuat akan mulai dijalankan dan diakhiri dengan menggunakan operasi ini. Instruksi yang digunakan ialah sebagai berikut:

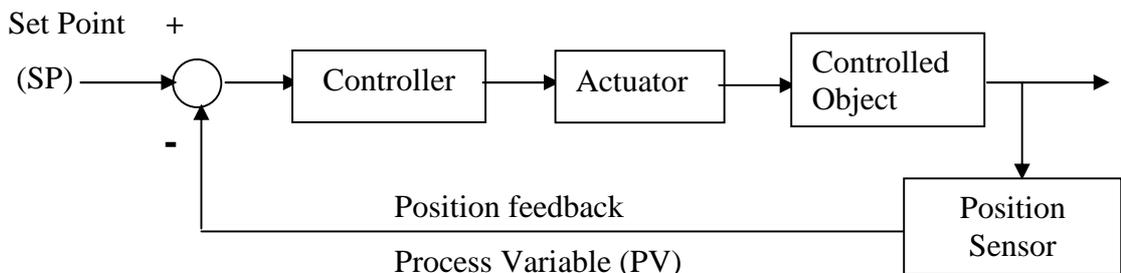


Gambar 3.6. Operasi Start/Stop

Pada operasi *start/stop* jenis *lup* yang digunakan ialah *while loop* dengan kondisi “*Stop if True*”. Hal ini akan menyatakan bahwa program akan menjalankan program secara berulang-ulang (*looping*) hingga *button* ditekan (kondisinya *True*), atau dengan kata lain program akan berhenti dijalankan saat *button* ditekan.

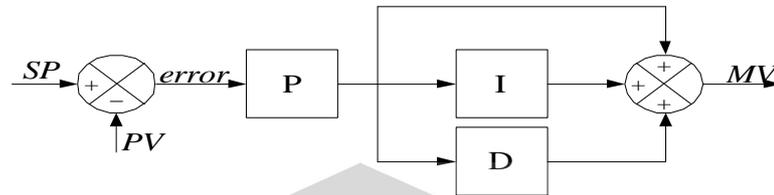
3.2.3.2 Operasi PID

Bagian ini akan membahas tentang program yang dijalankan untuk merealisasikan pengendalian dengan metode PID (*Proportional Integral Derivative*). PID merupakan salah satu bentuk proses *closed-loop control* atau *feedback control*. Inti dari *feedback control* adalah adanya *position feedback* atau disebut juga *Process Variable (PV)*. Blok proses dari *feedback control* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.11. Blok Proses Feedback Control

Software digunakan untuk memperoleh nilai MV (*Manipulaed Variable*). MV merupakan proses untuk mengatur variabel dan metode yang digunakan ialah metode *Mix*. Metode ini memiliki blok skema sebagai berikut:



Gambar 3.8. Blok MV dengan Metode *Mix*

Adapun persamaan yang digunakan pada program adalah:

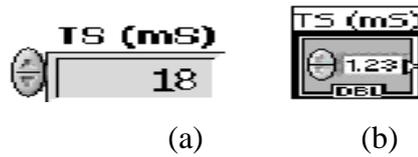
$$MV = K_p \cdot E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int E(t) \cdot dt + K_p \cdot T_d \frac{dE(t)}{dt}$$

Persamaan di atas merupakan bentuk persamaan dari *Analog PID Controller*. Namun, penelitian yang dilakukan mengacu pada cara kerja dari *Digitall PID Controller*. Sehingga persamaan di atas diubah menjadi:

$$MV = K_p \cdot E + \frac{K_p \cdot T_s}{T_i} \cdot \sum E + \frac{K_p \cdot T_d}{T_s} (E_n - E_{n-1})$$

Yang membedakan dari kedua persamaan tersebut ialah paada fungsi waktu. Untuk proses analog menggunakan fungsi waktu secara kontinu (terus-menerus), sedangkan untuk proses digital tidak menganut adanya kontinuitas waktu. Sehingga fungsi tersebut diubah dalam bentuk *Time Sampling (TS)*, yaitu perhitungan waktu secara periodik.

Untuk tampilan pada PC, disediakan fasilitas untuk memasukkan komponen dalam kendali PID. Adapun komponen-komponen yang tampilkan adalah TS (mS), SP (%), PB (%), Ti (mS), Td (mS). Komponen-komponen yang telah disebutkan di atas berbentuk bilangan. Sedangkan fasilitas pada LabVIEW 7.1 dalam memasukkan suatu bentuk bilangan dengan *Numeric Control* pada bagian *Front Panel*.



Gambar 3.9. (a) Numeric Control pada Front Panel
(b) Numeric Control pada Block Diagram

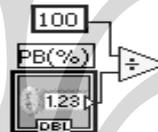
Dalam penerapannya pada software, nilai PB (Proportional Band) dalam bentuk persen (%). Untuk memperoleh nilai MV melibatkan nilai Kp, sedang nilai PB diperoleh dari nilai Kp. Diperoleh dari persamaan

$$PB = \frac{100 \%}{Kp}$$

Kemudian diubah menjadi

$$Kp = \frac{100 \%}{PB}$$

Persamaan tersebut, dalam software menjadi:



Gambar 3.10. Operasi dari persamaan

Dilihat pada persamaan 3-3, unsur E mengalami perubahan dari persamaan sebelumnya, yaitu pada bagian integrator dan differensiator. Untuk bagian integrator mulanya $\int E(t)$ kemudian diubah menjadi ΣE , sedangkan untuk bagian differensiator mulanya (dE/dt) diubah menjadi $(E_n - E_{n-1})$. Unsur E sendiri merupakan nilai *Error*, yang berasal dari persamaan:

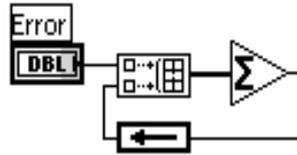
$$E = SP - PV$$

Program dari nilai integral yang diubah menjadi ΣE pada LabVIEW menggunakan operasi *add array element*, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.11. Operasi *Add Array Element*

Fungsi dari operasi *add array element* adalah menambahkan semua element array pada instruksi sebelumnya. Adapun instruksi selengkapnya adalah:



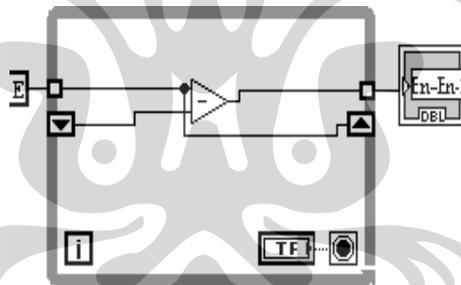
Gambar 3.12. Operasi Integral

Program dari nilai derivatife yang diubah menjadi $(E_n - E_{n-1})$ pada LabVIEW menggunakan operasi *shift register*, yaitu



Gambar 3.13. Operasi Shift Register

Sedangkan program nilai $(E_n - E_{n-1})$ dalam LabVIEW adalah:

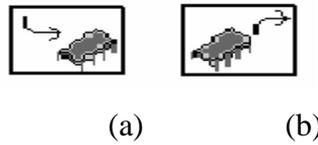


Gambar 3.14. Operasi Persamaan $(E_n - E_{n-1})$

Mula-mula nilai *Error* (E) masuk ke operasi *while loop*, kemudian nilai E mula-mula tersebut disimpan dalam *shift register*. Namun sebelum nilai E disimpan terlebih dahulu dikurangi dengan data *Error* sebelumnya yang tersimpan pada *shift register*. Pada *looping* yang pertama, data pada *shift register* adalah 0, karena belum terisi oleh nilai E . Namun, pada *looping* yang kedua hingga seterusnya data yang tersimpan pada *shift register* akan terisi oleh nilai E sebelumnya $(E_n - E_{n-1})$, yaitu nilai E sebelum nilai “ E terbaru” (E_n).

3.2.3.3 Komunikasi Paralel

Pada LabVIEW 7.1 untuk mengakses suatu komunikasi paralel digunakan instruksi *out port* dan *in port*. Instruksi *out port* digunakan untuk mengirim data, sedangkan instruksi *in port* digunakan untuk mengambil data.



Gambar 3.15. (a) *out port* dan (b) *in port*

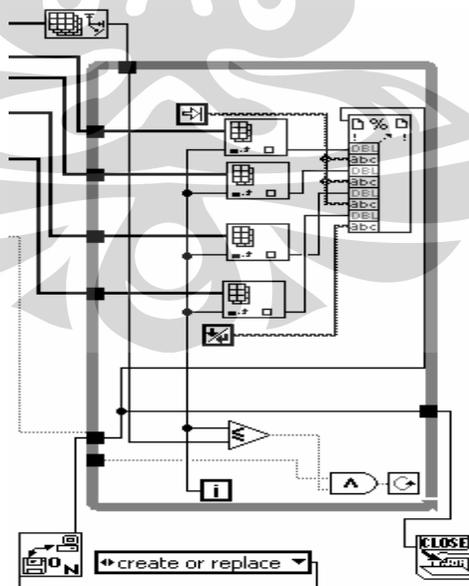
Data-data yang dikirim masing-masing mempunyai alamat sesuai dengan pin pada *port printer* sesuai dengan tabel 3.1.

Alamat	Koneksi	Fungsi
888	D0-D7	Pengiriman Data Power
889	S3-S6	Pembacaan Data Counter
890	C0-C3	Pengaturan Enable

Tabel 3.1. Koneksi Port Paralel dengan Perangkat Keras

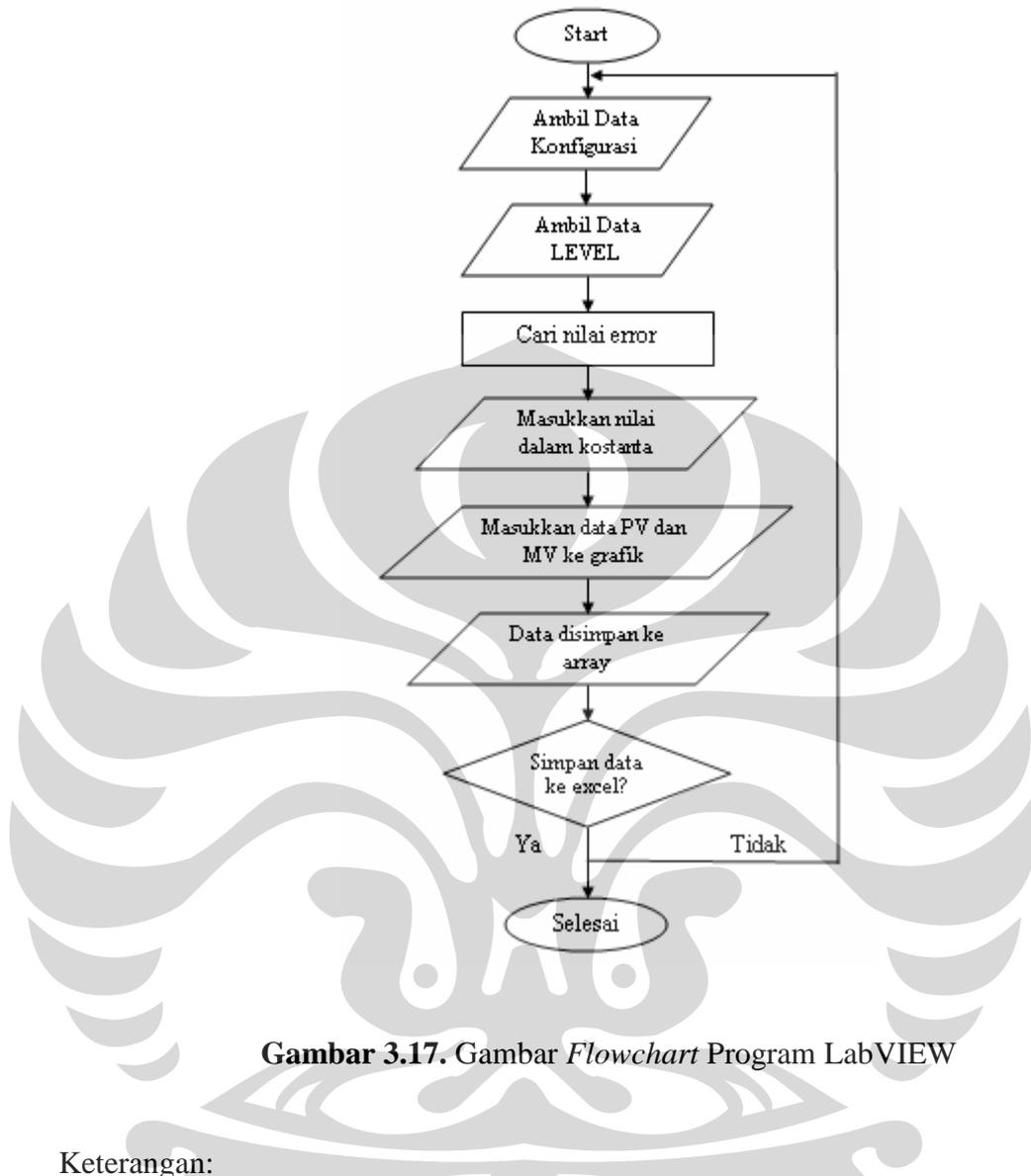
3.2.3.4 Penyimpanan Data

Setelah dilakukan pengolahan data oleh PID, hasilnya diperoleh data-data *Set Point (SP)*, *Process Variable (PV)*, *Manipulated Variable (MV)*, dan *Time (s)* yang diperoleh dari hasil kali antara *iterasi (i)* dengan *Time Sampling (TS)*.



Gambar 3.16. Program Penyimpanan Data

3.3 Flowchart LabVIEW



Gambar 3.17. Gambar *Flowchart* Program LabVIEW

Keterangan:

1. Data konfigurasi adalah nilai *Time Sampling* (TS), *Set Point* (SP), *Proportional Band* (PB), *Time integral* (Ti), *Time derivative* (Td).
2. Ambil data level, yaitu ketinggian air yang diperoleh.
3. Nilai error merupakan selisih antara SP dengan PV.
4. Maksud dari memasukkan nilai dalam konstanta agar diperoleh nilai dari persamaan PID yang digunakan.

BAB 4

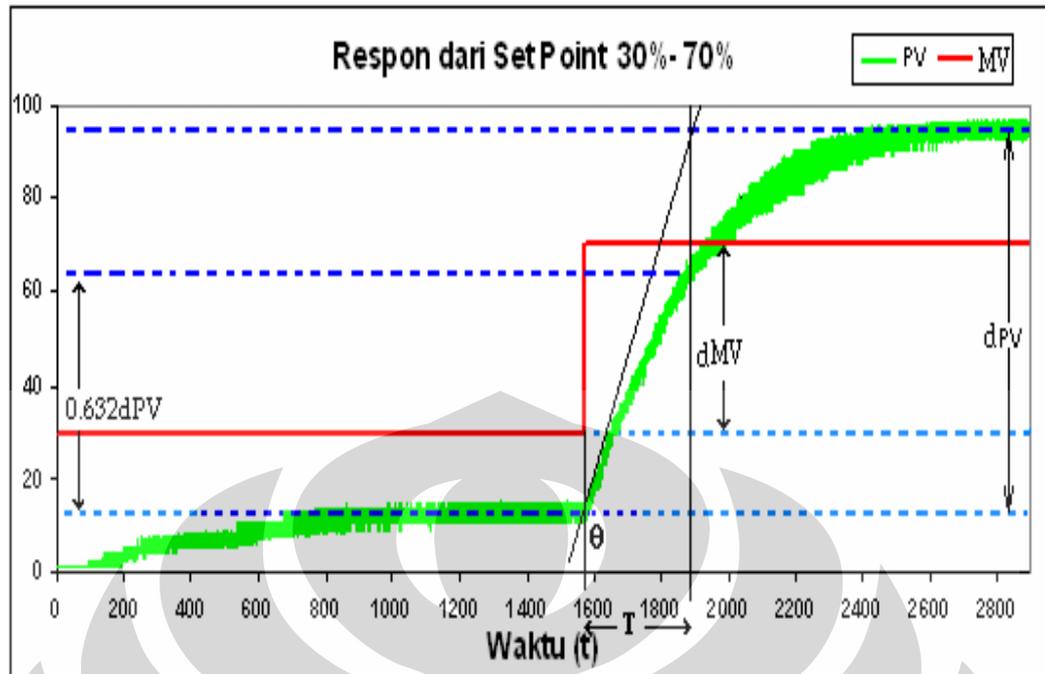
PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA PENELITIAN

Pembahasan pada bab 4 ini adalah mengenai pengujian sistem dan analisa data penelitian serta proses dan cara pengambilan data penelitian yang telah dilakukan penulis.

4.1 IDENTIFIKASI PROSES

Pada penelitian ini digunakan metode *tuning direct synthesis*. Untuk dapat menerapkan metode tersebut perlu dilakukan identifikasi proses terlebih dahulu agar dapat diketahui karakteristik dari *plant* yang digunakan. Setelah dilakukan identifikasi proses, akan diperoleh model fungsi transfer dari sistem yang digunakan tersebut.

Identifikasi proses ini dilakukan dengan cara memberikan suatu perubahan terhadap *plant* kemudian melihat respon *plant* tersebut berdasarkan perubahan yang diberikan. Pada penelitian ini, *plant* yang digunakan sangat dipengaruhi oleh suplai daya yang masuk ke dalam *plant*, maka dengan mengubah suplai daya yang masuk pada *plant* kita dapat melihat perilaku *plant* setelah dikenai suatu perubahan daya. Gambar 4.1. grafik respon *plant* yang diperoleh dari data identifikasi proses yang dilakukan.



Gambar 4.1. Grafik Identifikasi Proses

Dari identifikasi proses yang telah dilakukan diperoleh nilai *deadtime* (Θ), perubahan PV (ΔPV), perubahan MV (ΔMV), dan *time constant* (τ). Setelah mendapatkan nilai-nilai tersebut, maka dapat dibentuk model fungsi transfer dari sistem tersebut.

Berikut pengolahan datanya:

Diketahui : $\Theta = 0$ s

$$\Delta MV = 70 - 30 = 40$$

$$\Delta PV = 95 - 12,5 = 82,5$$

Dicari : τ dan $K = ?$

Penyelesaian :

- Mencari nilai τ :

- $(\Delta PV \times 0,632) + PV_{awal}$

$$(82,5 \times 0,632) + 12,5 = 52,14 + 12,5 = 64,64$$

- Pada PV = 64%, waktunya berada pada 1900 s

- Maka, $\tau = 1900 \text{ s} - 1580 \text{ s} = 320 \text{ s}$

- Mencari nilai K:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta MV} = \frac{82,5}{40} = 2,06$$

Maka model fungsi transfer untuk sistem adalah seperti di bawah ini.

$$G(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Fungsi transfer berdasarkan identifikasi proses yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{2,06e^{-0s}}{320s + 1} = \frac{2,06}{320s + 1}$$

4.2 PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan menggabungkan semua komponen yang ada yaitu konstruksi perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam pengujian sistem ini, nilai-nilai Time Sampling (TS), Set Point (SP), Proportional Band (PB), Time Integral (Ti), dan Time Differential (Td) dimasukkan melalui PC. Pada penelitian ini, dilakukan 3 kali pengujian dengan memberikan nilai Set Point yang bervariasi dan struktur pengendali yang digunakan adalah struktur mix. Berikut di bawah ini nilai-nilai dari konstanta pengendali PID yang telah diperoleh berdasarkan hasil dari identifikasi proses dan struktur pengendali PID yang digunakan.

Diketahui: $\tau = 320$

$K = 2,06$

$\Theta = 0$

$\tau_c > \tau$, pada penelitian ini nilai $\tau_c = 350$

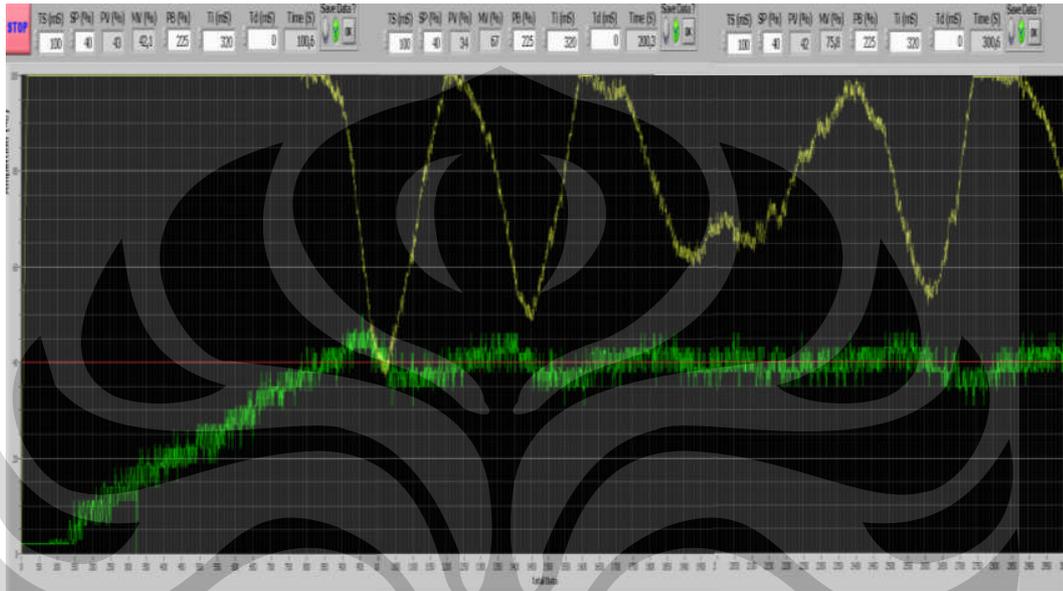
Dicari : PB, Ti, Td ? (untuk dimasukkan dalam LabVIEW)

Penyelesaian :

- $K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + \Theta)}$
- $K_c = \frac{320}{2,06(350 + 0)} = 0,4438$
- $PB = \frac{1}{K_c} \times 100\% = 225\%$
- $\tau = Ti = 320 \text{ ms}$
- $\Theta = Td = 0 \text{ ms}$

Adapun respon yang diperoleh dari perhitungan konstanta pengendali PID dengan metode *tuning direct synthesis* yang telah diuraikan dapat dilihat pada gambar berikut:

4.2.1 Pengujian PID pada Set Point 40%

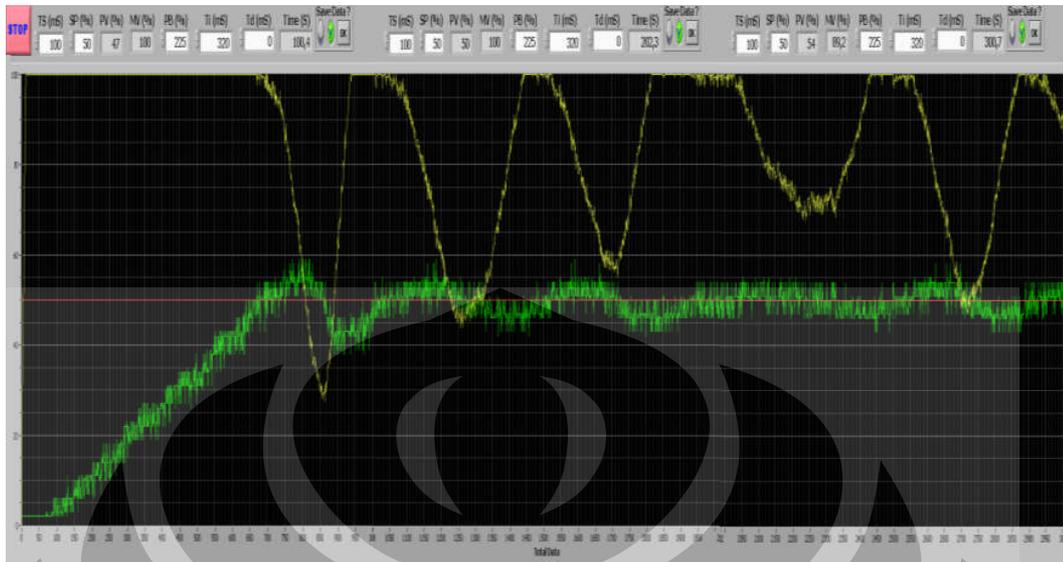


Gambar 4.2. Respon pada set point 40% menggunakan LabVIEW

Pada gambar respon terhadap waktu di atas terlihat bahwa nilai yang ingin dicapai adalah 40%, kemudian saat program dijalankan, pompa (MV) mulai bekerja mencapai ketinggian maksimal (100%) secara bertahap sehingga mengakibatkan air bertambah ketinggiannya (PV).

Nilai PV tidak dari nol karena sensor mulai dapat bekerja pada ketinggian 2,5 cm. Pompa akan terus bekerja maksimal selama ketinggian air masih berada di bawah 40%, hal ini akan mempercepat bertambahnya ketinggian air. Saat ketinggian air telah berada pada ketinggian yang diinginkan, nilai MV akan berkurang, hingga nilai PV sama dengan nilai SP. Ketinggian air akan tetap terjaga stabil disebabkan daya ke pompa yang diatur oleh pengendali PID yang terdapat pada program LabVIEW. Hal tersebut dapat terlihat gambar 4.3. yaitu saat 73 s nilai MV mulai berubah dari 100% sehingga ketinggian air berkisar pada nilai yang diinginkan (SP).

4.2.2 Pengujian PID pada Set Point 50%

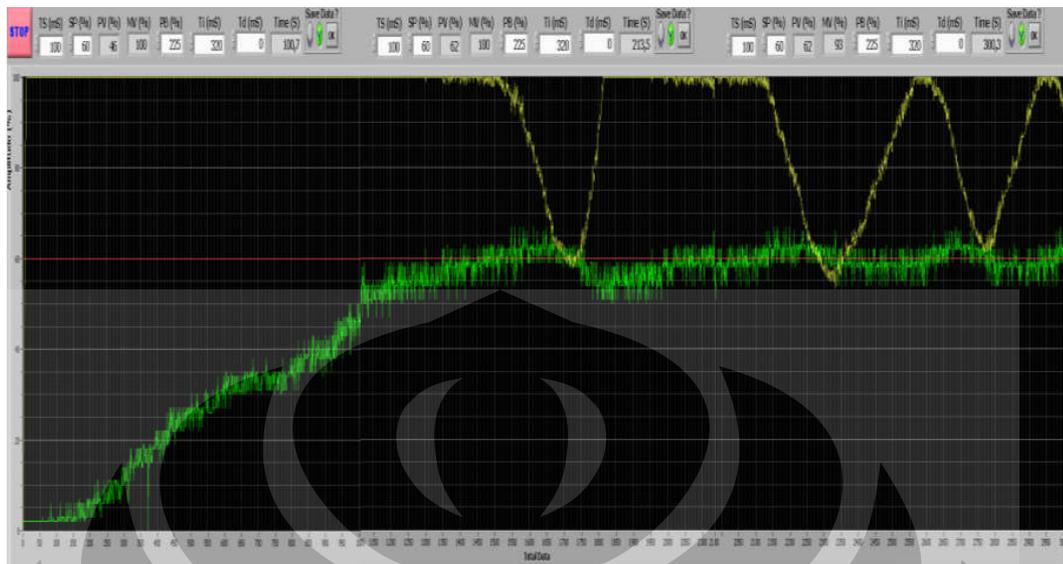


Gambar 4.3. Respon pada set point 50% menggunakan LabVIEW

Dari gambar respon 4.3. terlihat bahwa nilai yang ingin dicapai adalah 50%, kemudian saat program dijalankan, pompa (MV) mulai bekerja mencapai ketinggian maksimal (100%) secara bertahap sehingga mengakibatkan air bertambah ketinggiannya (PV). Nilai PV tidak dari nol karena sensor mulai dapat bekerja pada ketinggian 2,5 cm.

Pompa akan terus bekerja maksimal selama ketinggian air masih berada di bawah 50%, hal ini akan mempercepat bertambahnya ketinggian air. Saat ketinggian air telah berada pada ketinggian yang diinginkan, nilai MV akan berkurang, hingga nilai PV sama dengan nilai SP. Ketinggian air akan tetap terjaga stabil disebabkan daya ke pompa yang diatur oleh pengendali PID yang terdapat pada program LabVIEW. Hal tersebut dapat terlihat gambar 4.5. yaitu saat 79 s nilai MV mulai berubah dari 100% sehingga ketinggian air berkisar pada nilai yang diinginkan (SP).

4.2.3 Pengujian PID pada Set Point 60 %



Gambar 4.4. Respon pada set point 60% menggunakan LabVIEW

Dari gambar respon di atas terlihat bahwa nilai yang ingin dicapai adalah 60%, kemudian saat program dijalankan, pompa (MV) mulai bekerja mencapai ketinggian maksimal (100%) secara bertahap sehingga mengakibatkan air bertambah ketinggiannya (PV). Nilai PV tidak dari nol karena sensor mulai dapat bekerja pada ketinggian 2,5 cm.

Pompa akan terus bekerja maksimal selama ketinggian air masih berada di bawah 60%, hal ini akan mempercepat bertambahnya ketinggian air. Saat ketinggian air telah berada pada ketinggian yang diinginkan, nilai MV (pompa) akan berkurang, hingga nilai PV sama dengan nilai SP. Ketinggian air akan tetap terjaga stabil disebabkan daya ke pompa yang diatur oleh pengendali PID yang terdapat pada program LabVIEW. Hal tersebut dapat terlihat gambar 4.7. yaitu saat 125 s nilai MV mulai berubah dari 100% sehingga ketinggian air berkisar pada nilai yang diinginkan (SP).

4.3. ANALISA DATA PENELITIAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, di dapatkan bahwa data yang diperoleh mendekati dengan apa yang diinginkan, yaitu nilai PV akan berada mencapai nilai SP dalam suatu periode waktu tertentu dan nilai tersebut diperoleh dari nilai MV (pompa) yang bergantung pada suplai daya yang dikendalikan oleh PC. Kelemahannya terdapat data yang berfluktuasi karena adanya noise dari riak air yang terbaca oleh sensor. Sehingga dibutuhkan banyak data untuk dapat mengetahui hasil grafiknya.

Nilai MV yang didapatkan berubah-ubah. Perubahan tersebut merupakan perubahan pada daya motor untuk selalu menyesuaikan dengan nilai PV. Data yang diambil dari tiga nilai SP yang bervariasi, menunjukkan adanya perbedaan, yaitu sebagai berikut:

- Jika Set Point = 40%, maka MV mulai berkurang dari 100% yaitu sekitar 76 s,
- Jika Set Point = 50%, maka MV mulai berkurang dari 100% yaitu sekitar 79 s, dan
- Jika Set Point = 40%, maka MV mulai berkurang dari 100% yaitu sekitar 125 s.

Hasil yang diperoleh mendekati teori yang digunakan, yaitu PID dengan metode *tuning Direct Synthesis*.

BAB 5

KESIMPULAN dan SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran penulis. Kesimpulan dan saran merupakan fakta dan kenyataan yang harus dihadapi penulis dalam proses pengendalian, pengujian sistem, dan pengambilan data pada saat berlangsungnya kegiatan penelitian.

5.1 KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan perancangan sistem dan pengujian terhadap sistem tersebut penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konstruksi mekanik yang telah dibuat mampu melakukan pengendalian level air menggunakan perangkat lunak LabVIEW 7.1.
2. Pada kontroler PID terdapat 3 parameter yang dapat diatur, yaitu penguatan P (K_p), waktu integral (T_i), waktu derivatif (T_d). Berdasarkan eksperimen dapat ditentukan bahwa sistem pengendalian level air dapat bekerja secara optimal dengan $K_p = 0.4438$, $T_i = 320$ ms, dan $T_d = 0$ ms.
3. Respon dari sistem pengendalian pada eksperimen sesuai dengan teori PID, yaitu mencapai kestabilan, meski dengan jumlah data yang sangat banyak karena adanya *noise* (riak air).

5.2 SARAN

1. Untuk pengukuran level cairan, air yang beriak (*noise*) harus di filter agar data yang diperoleh tidak terlalu banyak agar dapat mencapai kestabilan dengan waktu yang lebih singkat.
2. Pembuatan konstruksi mekanik harus sepresisi mungkin untuk menghindari terjadinya gangguan dalam pergerakan level air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seborg, Dale E., Edgar, Thomas F. dan Mellichamp, Duncana A., *Process Dynamics And Control*, Jonh Wiley and Sons, Inc. (1989).
- [2] Katsuhiko Ogata, *Modern Control engineering*, New Jersey : Prentice Hall, 1997.
- [3] Willis, M. J., 1999. *Proportional-Integral-Derivative Control*, <URL:<http://lorien.ncl.ac.uk/ing/pid/pid.pdf>>.
- [4] Gunterus, Frans, *Sistem Pengendalian Proses*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1994.
- [5] Course Software Version 6.0. *LabVIEW Basics I and II Course Manual*, Texas: 2000.
- [6] www.alldatasheet.com

