

**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA KONSISTENSI  
BUBUR KERTAS BERBASIS MIKROKONTROLLER 8535**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana di

Jurusan Teknik Elektro



Oleh :

**Nama : Erik Dedy Pranata**

**No. Mahasiswa : 07524019**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2011**

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA KONSISTENSI  
BUBUR KERTAS BERBASIS MIKROKONTROLLER 8535**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Nama : **Erik Dedy Pranata**

No. Mahasiswa : **07 524 019**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, November 2011

Tim Penguji

**Dwi Ana Ratnawati, ST., M.Eng.**

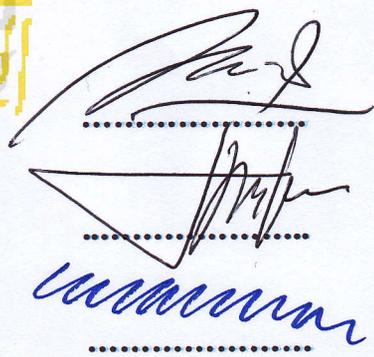
Ketua

**Dr. Eng. Hendra Setiawan, ST., MT.**

Anggota I

**Wahyudi Budi P, ST., M.Eng.**

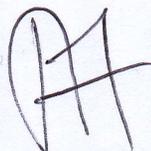
Anggota II



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia



**Eto Yuwono ST, MSc**

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA KONSISTENSI  
BUBUR KERTAS BERBASIS MIKROKONTROLLER 8535**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Nama : **Erik Dedy Pranata**

No. Mahasiswa : **07 524 019**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, November 2011

Tim Penguji

**Dwi Ana Ratnawati, ST., M.Eng.**

.....

**Ketua**

**Dr. Eng. Hendra Setiawan, ST., MT.**

.....

**Anggota I**

**Wahyudi Budi P, ST., M.Eng.**

.....

**Anggota II**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia

**Tito Yuwono ST, MSc**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**  
**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA KONSISTENSI**  
**BUBUR KERTAS BERBASIS MIKROKONTROLLER 8535**

**TUGAS AKHIR**



Oleh:

Nama : **Erik Dedy Pranata**

No. Mahasiswa : **07 524 019**

Yogyakarta,

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.**

**Tito Yuwono, ST, M.Sc**

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**  
**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA KONSISTENSI**  
**BUBUR KERTAS BERBASIS MIKROKONTROLLER 8535**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Nama : **ERIK DEDY PRANATA**

No. Mahasiswa : **07 524 019**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta, Juni 2011**

**Tim Penguji,**

**(Ketua)**

**Anggota**

**Anggota II**

.....

.....

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan rasa syukur yang setinggi-tingginya dan kerendahan hati kupersembahkan karya ini kepada Mu ya Allah, Semoga hambaMu ini selalu tawakal di jalan yang Engkau ridhoi.*

*Shalawat dan salam teruntuk junjungan kita Rasullullah Muhammad SAW, sifat dan teladan beliau sungguh mengajarkan kebaikan, ketulususan dan keikhlasan.*

*Dengan bangga kupersembahkan karya ku kepada Ayahanda dan Ibunda atas pemberian kasih sayang yang tiada tara yang telah diberikan kepada ku.*

*Dengan senang hati kupersembahkan karyaku ini kepada kakak-kakakku dan adek-adekku yang sudah mendukung selama ini. Semoga kita bisa berguna bagi keluarga, bangsa, negara dan agama, Amin.*

*Kupersembahkan juga karyaku ini untuk Rhema R.D. dan semua teman-teman elektro 07 yang selalu support. Semoga kita sukses dan membanggakan bagi keluarga, bangsa, negara, dan agama. Amin.*

# MOTTO

*Berfikirlah dengan jalan fikiran lain jika menemui kebuntuan akan sesuatu, sehingga kita tidak terkurung dalam fikiran yang ada dan membuka kesempatan-kesempatan yang belum ada sebelumnya.*

*(Erik D.P.)*

*Mempunyai ilmu yang tinggi itu baik, tapi akan lebih baik dan lebih mulia mempunyai ilmu disertai agama yang benar....*

*(Erik Pranata)*



## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb*

Syukur Alhamdulillah tak henti- hentinya dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang mana telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dan semoga tugas akhir ini akan bermanfaat bagi orang banyak nantinya. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rosulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Semoga kita menjadi umat-umatnya yang mendapatkan syafaat beliau di yaumul akhir nanti.

Alhamdulillah sekali lagi penulis ucapkan, karena akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Pengendali PID Pada Konsistensi Bubur Kertas Berbasis Mikrokontroler 8535”. Sungguh banyak kisah dan pengalaman yang sangat mengesankan selama mengerjakan tugas akhir ini. Adapun dalam tugas akhir ini membahas tentang perancangan pengendali PID pada konsistensi bubur kertas dengan menggunakan mikrokontroler ATMEGA 8535. Sehingga menghasilkan sebuah alat yang bisa mengendalikan konsistensi bubur kertas pada konsistensi tertentu.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya kepada beberapa pihak antara lain :

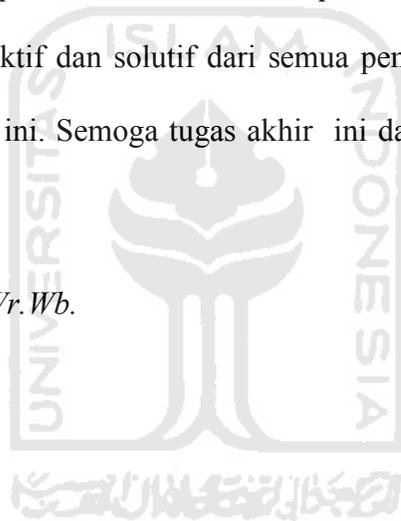
1. Kedua orang tua yang telah memberikan semangat baik secara materil maupun moril dan memberikan doa, hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan
2. Bapak Tito Yuwono, ST, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng. selaku Pembimbing I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan tentang pengendali PID sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sulisetyawan. selaku Pembimbing di PT. Pura Nusa Persada yang selalu memberikan arahan dan masukan yang bermanfaat sampai Tugas Akhir ini selsesai.
5. Bapak Medilla Kusriyanto, ST, M.Eng. yang sangat membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas bimbingan selama saya kuliah di jurusan teknik elektro.
7. Mas Heri, Mas Anwar yang selalu menyediakan tempat, alat – alat dan komponen di Laboratorium
8. Teman – teman Hardi, Rudi, Sapta, Irdhan, Hifni, Isnanto, Agus, Iqbal, Diki, Tomi, Insan, dan teman-teman elektro '07 yang telah memberikan dukungan kepadaku
9. Kakak-kakakku yang selalu menjadi pelindung bagi adik-adikmu, adik-adikku yang selalu membuatku tertawa dan selalu mendukungku.

10. Rhema Raisa Damayanti, yang selalu memberikan semangat dan nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

11. Dan banyak pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan kurangnya pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dan solutif dari semua pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membutuhkan.

*Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.*



Yogyakarta, 2011

Penulis

## ABSTRAKSI

Pada penelitian ini dirancang sistem kendali PID berbasis mikrokontroler ATmega 8535 untuk mengendalikan konsistensi bubur kertas. Sistem kendali tipe PID diprogram menggunakan *software* BASCOM-AVR. Input dari sistem yaitu sensor *Transmitter Consistency* menghasilkan arus 4 – 20 mA yang harus diubah ke tegangan sebelum masuk ke mikrokontroler. Output kendali yang dihasilkan membutuhkan *V to I Converter*, untuk menggerakkan *control valve* membutuhkan arus sebesar 4 – 20 mA. Dari perancangan sistem pengendali PID yang telah diimplementasikan, didapat nilai  $K_p = 50$ ,  $K_d = 15$ , dan  $K_i = 0$  yang memberikan grafik respon yang baik yaitu mencapai nilai *set point* dengan cepat dan mempunyai maksimum *overshoot* yang kecil. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan sebesar 280 – 310 detik. Dari hasil yang diperoleh dalam pengujian membuktikan bahwa kontrol PID mampu mengendalikan konsistensi bubur kertas dengan baik walaupun dengan perubahan *set point*.

**Kata kunci :** PID, BASCOM-AVR, *Transmitter Consistency*, *Consistency*, *Control Valve*.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstraksi	ix
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xviii
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> )	6
2.2.1 Mikrokontroller AVR ATmega 8535	6

2.2.1.1	Fitur ATmega 8535	8
2.2.1.2	Konfigurasi ATmega 8535	9
2.2.2	<i>Transmitter Consistency</i>	9
2.2.3	<i>Control Valve</i>	12
2.2.4	PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> )	14
2.2.5	LCD ( <i>Liquid Crystal Display</i> )	15
2.3	Perangkat Lunak ( <i>Software</i> )	17
2.3.1	PID	17
2.3.1.1	Proporsional (P)	18
2.3.1.2	Integral (I)	18
2.3.1.3	Derivatif (D)	19
2.3.2	Bahasa BASIC Menggunakan BASCOM	21
2.3.2.1	Karakter Dalam BASCOM	21
2.3.2.2	Tipe Data	22
2.3.2.3	Variabel	22
2.3.2.4	Alias	23
2.3.2.5	Operasi-operasi Pada BASCOM	23

### BAB III : PERANCANGAN SISTEM

3.1	Perancangan Sistem	26
3.2	Perancangan <i>Hardware</i>	28
3.2.1	Rangkaian Sistem Minimum ATmega 8535	28
3.2.2	Rangkaian <i>Power Supply</i>	30

3.2.3 Rangkaian Transistor BD 140	30
3.2.4 Rangkaian <i>Voltage to Current Converter</i>	31
3.2.5 Pengaplikasian LCD	32
3.3 Perancangan <i>Software</i>	33
4.3 <i>Flowchart</i> Sistem	35
<b>BAB IV : PENGUJIAN, ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Proses Produksi	36
4.2 Pengujian <i>Hardware</i>	44
4.2.1 Pengujian Rangkaian <i>Power Supply</i>	44
4.2.2 Pengujian <i>I to V Converter</i>	45
4.2.3 Pengujian Rangkaian Pengendali Konsistensi Bubur Kertas	46
4.2.3.1 Pengujian ADC	46
4.2.3.2 Pengujian Tegangan dengan <i>Consistency</i>	48
4.2.3.3 Pengujian <i>Consistency</i> dengan <i>Error</i>	50
4.2.4 Pengujian Rangkaian <i>V to I Converter</i>	51
4.3 Pengujian <i>Software</i>	52
4.4 Hasil dan Analisa Tuning PID	54
4.4.1 Pengendali PID dengan $K_p = 20$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 10$ ;	
Set Point = 3.8%	54

4.4.2	Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ;	
	Set Point = 3.8%	55
4.4.3	Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ;	
	Set Point = 3.8%	56
4.4.4	Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 0$ ;	
	Set Point = 3.8%	57
4.4.5	Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 25$ , dan $K_d = 15$ ;	
	Set Point = 3.8%	58
4.4.6	Pengendali PID dengan $K_p = 90$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 20$ ;	
	Set Point = 3.8%	59
4.4.7	Pengendali PID dengan $K_p = 75$ , $K_i = 30$ , dan $K_d = 15$ ;	
	Set Point = 3.8%	60
4.4.8	Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ;	
	Set Point = 3.5%	61
4.4.9	Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ;	
	Set Point = 3.2%	62

#### 4.4.10 Perbandingan Grafik Respon PID Alat yang Dibuat

dan Alat Perusahaan dengan *Set Point* = 3.8% 63

### BAB V : PENUTUP

5.1 Kesimpulan 64

5.2 Saran 65

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mikrokontroler ATmega 8535	7
Gambar 2.2 Bagian – bagian <i>Transmitter Consistency</i>	11
Gambar 2.3 Penempatan <i>Transmitter Consistency</i> pada Pipa	12
Gambar 2.4 <i>Control Valve</i> pada <i>Dilution Water</i>	13
Gambar 2.5 Gelombang Kotak yang Memiliki $y_{max}$ , $y_{min}$ , dan D	14
Gambar 2.6 Pin Out LCD 2x16 Standar	17
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	26
Gambar 3.2 Diagram Blok <i>Closed-loop Plant</i>	27
Gambar 3.3 Rangkaian Skematik Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 8535	28
Gambar 3.4 Rangkaian Skematik <i>Power Supply</i>	30
Gambar 3.5 Rangkaian Transistor BD 140	31
Gambar 3.6 Rangkaian Skematik <i>V to I Converter</i>	31
Gambar 3.7 Rangkaian LCD 2 x 16	32
Gambar 3.8 Program pada BASCOM AVR	33
Gambar 3.9 AVROSP II	34
Gambar 3.10 <i>Flowchart</i> Sistem	35
Gambar 4.1 Salah Satu Lokasi pada PM 8	41
Gambar 4.2 Diagram Alir <i>Stock Preparation</i> PM 8	42
Gambar 4.3 Penampil Konsistensi dan PID pada PT. Pura Nusapersada	43

Gambar 4.4 <i>Fan Pump</i>	43
Gambar 4.5 Mesin <i>Wire</i>	44
Gambar 4.6 Grafik Pengujian <i>I to V Converter</i>	45
Gambar 4.7 Grafik Tegangan Input yang Diubah oleh ADC	47
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tegangan dengan <i>Consistency</i>	49
Gambar 4.9 Grafik Hubungan <i>Consistency</i> dan <i>Error</i>	50
Gambar 4.10 Grafik Pengujian <i>V to I Converter</i>	51
Gambar 4.11 Program LCD dan Ditampilkan pada LCD	53
Gambar 4.12 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 20$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 10$	54
Gambar 4.13 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$	55
Gambar 4.14 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 70$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$	56
Gambar 4.15 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 70$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 0$	57
Gambar 4.16 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 70$ , $K_i = 25$ , dan $K_d = 15$	58
Gambar 4.17 Grafik Respon <i>Set Point 3.8 %</i> dengan $K_p = 90$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 20$	59

Gambar 4.18 Grafik Respon <i>Set Point</i> 3.8 % dengan $K_p = 75$ , $K_i = 30$ , dan $K_d = 15$	60
Gambar 4.19 Grafik Respon <i>Set Point</i> 3.5 % dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$	61
Gambar 4.20 Grafik Respon <i>Set Point</i> 3.2 % dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$	62
Gambar 4.21 Perbandingan Grafik Respon PID pada Alat	63



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konfigurasi Pin Out LCD	16
Tabel 2.2 Pengaruh $K_p$ , $K_i$ , dan $K_d$	20
Tabel 2.3 Karakter Spesial pada BASCOM	21
Tabel 2.4 Tipe Data pada BASCOM	22
Tabel 2.5 Operasi Relasi	24
Tabel 4.1 Pengujian <i>I to V Converter</i>	46
Tabel 4.2 Pengujian ADC	47
Tabel 4.3 Pengujian <i>Consistency</i> terhadap Tegangan	48



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dalam industri kertas, kualitas dari bahan baku, proses sampai dengan kualitas kertas yang dihasilkan harus sesuai dengan keinginan pesanan. Proses untuk pembuatan bubur kertas sampai menjadi kertas harus dikontrol untuk didapatkan kertas yang bermutu. Pengontrolan mesin dalam industri kertas ini dilakukan secara otomatis, begitu juga yang dilakukan pada salah satu industri kertas PT. Pura Nusapersada. Hal ini akan memudahkan dalam pengecekan jika terjadi kesalahan atau kerusakan pada mesin sehingga bisa diketahui secara cepat bagian mana yang bermasalah.

Buburan kertas merupakan tahap awal dalam pembuatan kertas yaitu dengan cara mencampurkan bahan baku yang ditambahkan dengan air. Konsistensi bubur kertas pada awal proses diatur pada 4% - 5%. Konsistensi bubur kertas ini dibuat lebih kental pada awal proses agar sewaktu proses selanjutnya tidak terlalu encer konsistensi bubur kertasnya. Ini dilakukan karena dikhawatirkan saat melalui beberapa proses, konsistensi menjadi berkurang dan tidak sesuai dengan konsistensi yang diinginkan pada proses akhir sehingga kertas yang dihasilkan juga akan terpengaruh kualitasnya. Konsistensi yang dibutuhkan pada proses akhir sebelum diproses menjadi kertas yaitu 3,2% - 3,8%. Bubur kertas ini hanya bisa diencerkan saja, sehingga jika konsistensi bubur kertas masih tinggi bisa diencerkan dengan *dillution water*. *Dillution water* ini dikendalikan

oleh *valve* yang akan membuka dan menutup sesuai dengan kebutuhan seberapa besar air yang dibutuhkan untuk mengencerkan bubur kertas agar sesuai dengan keinginan. Dengan alasan inilah, dalam tugas akhir membuat sebuah pengontrol untuk mengontrol bubur kertas menggunakan PID.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang pengendali PID pada bubur kertas berbasis mikrokontroller 8535?
2. Menganalisa pengontrol bubur kertas berbasis mikrokontroller 8535 menggunakan PID ini dapat digunakan dalam bidang industri kertas secara nyata

## 1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir hanya membahas tentang pengontrolan bubur kertas menggunakan PID, tidak membahas pengontrolan proses yang lain dalam industri kertas.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah menguji sistem pengendali tipe PID untuk menentukan nilai tetapan proporsional ( $K_p$ ), tetapan integral ( $K_i$ ) dan tetapan defferensial ( $K_d$ ) agar pengendali tipe PID dapat bekerja secara optimal. Selanjutnya adalah merancang dan merealisasikan suatu sistem pengendali tipe PID yang digunakan untuk pengendalian konsistensi bubur kertas.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dan pembahasan laporan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini diuraikan tentang judul, latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan tujuan serta sistematika pembahasan dari tugas akhir perancangan pengendali PID pada konsistensi bubur kertas berbasis mikrokontroler 8535.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini diuraikan mengenai teori-teori yang mendukung dalam pelaksanaan serta penyelesaian perancangan pengendali PID pada konsistensi bubur kertas berbasis mikrokontroler 8535.

### **BAB III PERENCANAAN SISTEM**

Dalam bab ini diuraikan tentang perencanaan serta langkah-langkah dalam pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak pada perancangan pengendali PID pada konsistensi bubur kertas berbasis mikrokontroler 8535.

### **BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA**

Dalam bab ini dijelaskan tentang proses produksi tentang pembuatan kertas pada *paper mill* 8 (PM 8) di PT. Pura Nusapersada dan hasil pengujian perangkat keras dan perangkat lunak yang dibuat. Dari hasil pengujian, maka dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh. Sehingga dari hasil dan analisa

yang ada dapat diketahui seberapa jauh kebenaran yang dihasilkan dalam praktek bila dibandingkan dengan teori-teori penunjang yang ada .

## **BAB V PENUTUP**

Dari tahapan-tahapan tersebut diatas maka pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran-saran yang dikemukakan berdasarkan pada saat pengujian pengendali PID dari perangkat yang telah dibuat.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dengan judul perancangan pengering tembakau berbasis mikrokontroler ATmega dengan logika fuzzy oleh Arief Dwi Purnama tahun 2008. Pada penelitian ini, membuat perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan antara lain mikrokontroler ATMEGA 8535 dan AVR Developmet System sebagai sistem minimum mikrokontroler, rangkaian optocoupler dan *zero crossing detector* sebagai driver pengendali daya, keypad sebagai masukan suhu yang diinginkan, LCD sebagai penampil, dan sensor suhu LM 35 sebagai sensor yang mendeteksi besarnya suhu oven. Untuk perngkat lunaknya digunakan logika fuzzy.

Penelitian lain dengan judul perancangan pengendali PID digital pada *heater* oleh Roni Andika tahun 2010. Pada penelitian ini, membuat alat untuk mengendalikan suhu air menggunakan PID dengan NIDAQ 6009. Disini menggunakan sensor LM 35 untuk mendeteksi suhu air dan NIDAQ 6009 sebagai pengendali. Sedangkan untuk perangkat lunak dalam penelitian ini menggunakan Labview 8.6.

## **2.2. Perangkat Keras (*Hardware*)**

### **2.2.1. Mikrokontroller AVR ATmega 8535**

Mikrokontroller merupakan komputer dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya bisa disebut pengendali kecil dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan mikrokontroller ini. Dengan mikrokontroller ini, rancang bangun sistem elektronik akan lebih cepat karena sebagian besar dari sistem adalah perangkat yang mudah dimodifikasi. Pencarian gangguan juga lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak. Mikrokontroller adalah suatu mikroprosesor plus. Mikrokontroller adalah pusat kerja dari suatu sistem elektronika seperti halnya mikroprosesor sebagai otak komputer. Adapun nilai plus bagi mikrokontroller adalah terdapatnya memori dan port input/output dalam suatu kemasan IC yang kompak. Kemampuannya yang programmable, fitur yang lengkap seperti ADC internal, EEPROM internal, port I/O, komunikasi serial. Juga harga yang terjangkau memungkinkan mikrokontroller digunakan pada berbagai sistem elektronis, seperti pada robot, automasi industri, sistem alarm, peralatan telekomunikasi, hingga sistem keamanan. Mikrokontroller AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit dan sebagian besar instruksi dalam 1 (satu) siklus clock, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus clock. Hal ini terjadi karena kedua jenis mikrokontroller tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. AVR berteknologi RISC

(*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya, yang membeda-bedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan sama. Piranti dapat diprogram secara *in-system programming* (ISP) dan dapat diprogram berulang-ulang selama 10.000 kali baca/tulis didalam sistem.



**Gambar 2.1** Mikrokontroller ATmega 8535

Mikrokontroller telah dilengkapi dengan CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read Only Memory*), input, output, Timer/Counter, dan serial com port secara spesifik digunakan untuk aplikasi-aplikasi kontrol. Mikrokontroller umumnya bekerja pada frekuensi 4 MHz – 40 MHz.

perangkat ini sering digunakan untuk kebutuhan kontrol tertentu seperti pada sebuah penggerak motor.

*Read Only Memory* (ROM) yang isinya tidak berubah meskipun IC kehilangan catu daya. Memori penyimpanan program dinamakan sebagai memori program.

*Random Access Memory* (RAM) isinya akan begitu sirna jika IC kehilangan catu daya, hanya dipakai untuk menyimpan data pada saat program bekerja. RAM yang dipakai untuk menyimpan data disebut sebagai memori data.

#### **2.2.1.1. Fitur ATmega 8535**

Kapabilitas detail dari ATmega8535 adalah sebagai berikut,

- Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
- Kapabilitas memori *flash* 8 KB, *SRAM* sebesar 512 byte, dan *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memori*) sebesar 512 byte.
- *ADC* internal dengan fidelitas 10 bit sebanyak 8 *channel*.
- Portal komunikasi serial (*USART*) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps.
- Enam pilihan mode *sleep* untuk menghemat penggunaan daya listrik.

### 2.2.1.2. Konfigurasi ATmega 8535

Konfigurasi pin ATmega 8535 adalah sebagai berikut:

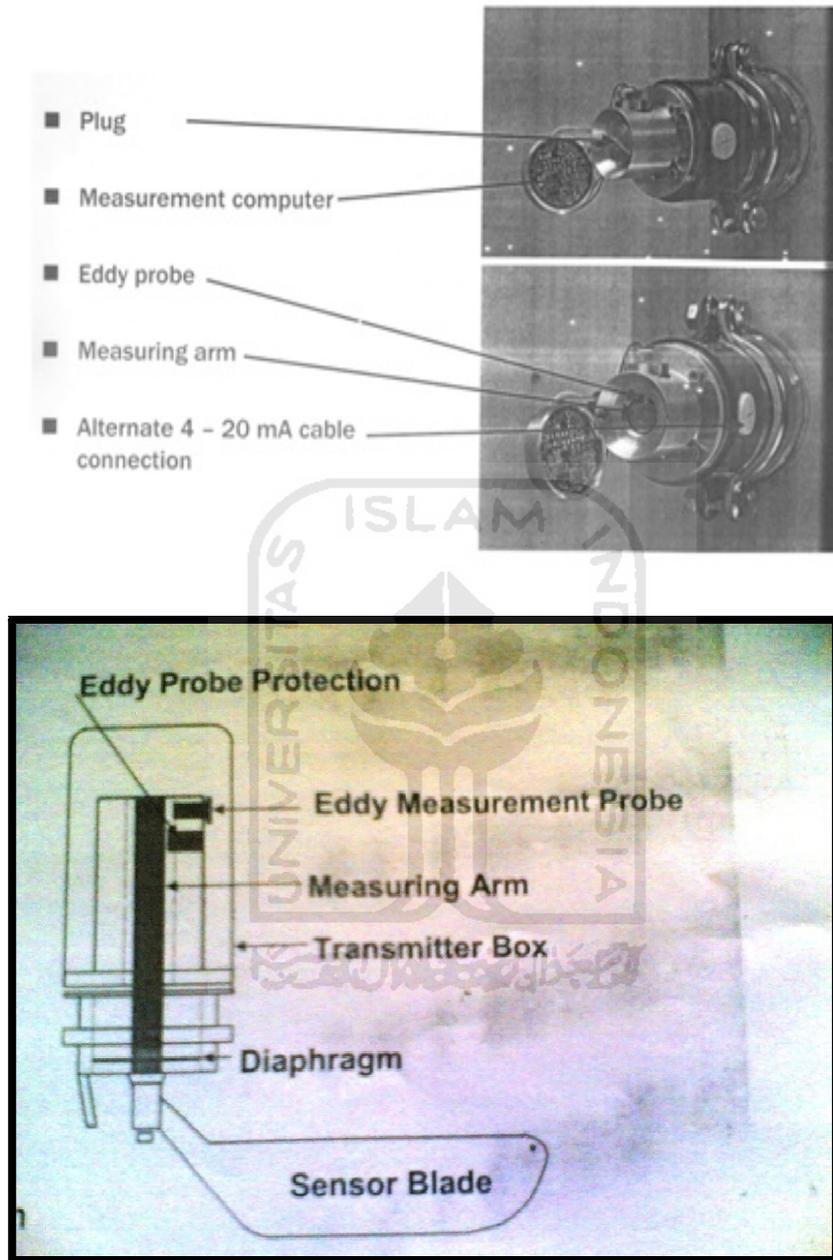
1. Vcc merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
2. Gnd merupakan pin ground.
3. Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu Timer /Counter, komparator analog, dan SPI.
5. Port C (PC0...PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan Timer Oscilat.
6. Port D (PD0...PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, komunikasi serial.
7. Reset merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
9. AVcc merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. ARef merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

### 2.2.2. *Transmitter Consistency*

*Transmitter consistency* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar konsistensi bubuk kertas pada industri kertas. Di dalam *transmitter consistency* terdapat beberapa komponen seperti sensor edy probe, *static blade*, *transmitter*, *measuring arm* dan lain-lain. *Transmitter* disini berguna untuk memantau dan mengontrol dari jauh, tidak perlu langsung berdekatan dengan alatnya karena alat ini ditempatkan pada pipa saluran untuk mengalirkan buburan kertas dari chest satu

ke chest yang lain sehingga bisa berbahaya. Sedangkan sensor edy probe ini merupakan sensor jarak, dan menghasilkan arus sebesar 4 – 20 mA, arus inilah yang dikirimkan melalui transmitter menuju ke receiver. Receiver dari *transmitter consistency* ini dihubungkan ke monitor/display untuk menampilkan seberapa besar konsistensi bubur kertas pada saat itu.

*Transmitter consistency* ini dipasang pada pipa-pipa aliran bubur kertas. Dalam pemasangan juga tidak sembarangan di pipa-pipa tapi ada jarak tertentu baik jarak dari pump maupun terhadap lengkungan pipa. Untuk *blade/pisaunya* diletakkan di dalam pipa pada aliran bubur kertas sedangkan untuk sensor dan *transmitter*-nya di luar pipa. Pisau yang ada di dalam pipa ini terdapat measuring arm sebagai sumbu atau as yang dihubungkan dengan sensor. Akan tetapi antara sensor dan sumbu pisau ini terdapat jarak. Jarak ini yang menentukan seberapa besar arus yang dihasilkan oleh *transmitter consistency*, semakin bergeser sumbu atau as dengan sensor maka semakin besar arus yang dihasilkan. Penempatan sensor ini biasanya di atas dan sumbu pisau dibawahnya dengan jarak tertentu jika diletakkan dalam pipa vertikal. Pisau yang di dalam pipa dilindungi dengan pelindung di bagian atas dan bawahnya agar aliran bubur kertas yang dipompa tidak langsung mengenai pisau. Jika langsung mengenai aliran bubur kertas maka hasil pembacaan konsistensi bubur kertas oleh *transmitter consistency* akan tidak sesuai karena terpengaruh dorongan dari *fun pump*.



**Gambar 2.2** Bagian-bagian *Transmitter Consistency*



**Gambar 2.3** Penempatan *Transmitter Consistency* pada Pipa

### **2.2.3. Control Valve**

*Control valve* atau *proportional valve* adalah alat yang digunakan untuk memodifikasi aliran fluida atau laju tekanan pada sebuah sistem proses dengan menggunakan daya untuk operasinya. *Control valve* adalah elemen akhir yang paling umum digunakan untuk mengatur aliran bahan dalam sebuah proses. Pada suatu loop proses, hanya ada resistansi variabel yang dikontrol, sedangkan resistansi berubah-ubah karena perubahan aliran pada sistem atau karena lapisan pipa dan permukaan dinding peralatan. Variasi resistansi ini tidak diinginkan dan harus dikompensasi dengan menggunakan *control valve*. Pada sebagian besar kasus, *control valve*

diinginkan berubah secara kontinyu berdasarkan sinyal kontrol untuk mempertahankan kondisi mantap dari variabel proses. Untuk *control valve* disini menggunakan arus sebagai masukan, yaitu sebesar 4 – 20 mA. Karena kemampuan jangkauan yang lebar sudah menjadi sifat bawaan dalam memilih ukuran *control valve*, maka terdapat beberapa pilihan yang dibuat, bergantung pada :

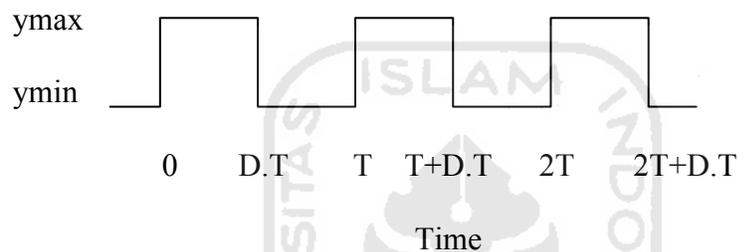
- Desain bodi
- Karakteristik aliran
- Jenis actuator
- Desain trim



**Gambar 2.4** *Control Valve* pada *Dillution Water*

#### 2.2.4. PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM menggunakan gelombang kotak dengan *duty cycle* tertentu menghasilkan berbagai nilai rata-rata dari suatu bentuk gelombang. Jika kita menganggap bentuk gelombang kotak  $f(t)$  dengan nilai batas bawah  $y_{min}$ , batas atas  $y_{max}$  dan *duty cycle*  $D$ , seperti gambar di bawah ini:



**Gambar 2.5** Gelombang Kotak yang Memiliki  $y_{max}$ ,  $y_{min}$ , dan  $D$

Nilai rata-rata dari bentuk gelombang diatas adalah :

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika  $f(t)$  adalah gelombang kotak, maka nilai  $y_{max}$  adalah dari  $0 < t < D.T$

dan nilai  $y_{min}$  dari  $D.T < t < T$ , dari pernyataan diatas didapat:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{D.T} y_{max} dt + \int_{D.T}^T y_{min} dt \right) \\ &= \frac{D.T.y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} \\ &= D.y_{max} + (1-D)y_{min} \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan dalam berbagai kasus dimana  $y_{min}=0$  sehingga kita mendapat bentuk persamaan akhir  $\bar{y} = D.y_{max}$ . dari persamaan ini jelas bahwa nilai rata-rata dari sinyal ( $\bar{y}$ ) secara langsung bergantung pada *duty cycle* D.

Port-port PWM pada mikrokontroller ATmega 8535 :

- PWM 0 → OC0 (PB3)
- PWM1A → OC1A (PD5)
- PWM1B → OC1B (PD4)
- PWM 2 → OC2 (PD7)

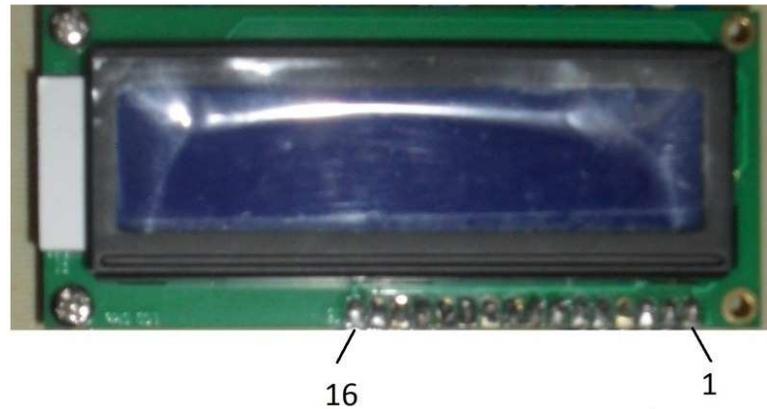
Salah satu keunggulan dari ATmega 8535 adanya fasilitas PWM. Dengan mengambil pulsa PWM dari pin OC0, OC2, atau OC1A dan OC1B. Sebuah sinyal dengan frekuensi tetap, tetapi lebar pulsa high dan lebar pulsa low dapat diatur.

#### 2.2.5. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*liquid Crystal Display*) adalah sebuah modul penampil yang banyak digunakan. LCD yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu modul LCD dengan tampilan 2x16 (2 baris x 16 kolom) dengan konsumsi daya rendah. LCD ini dapat menampilkan beberapa informasi sesuai dengan program yang dimasukkan pada mikroprosesor kemudian ditampilkan ke LCD sehingga memudahkan dalam pembacaan informasi.

**Tabel 2.1** Konfigurasi Pin Out LCD

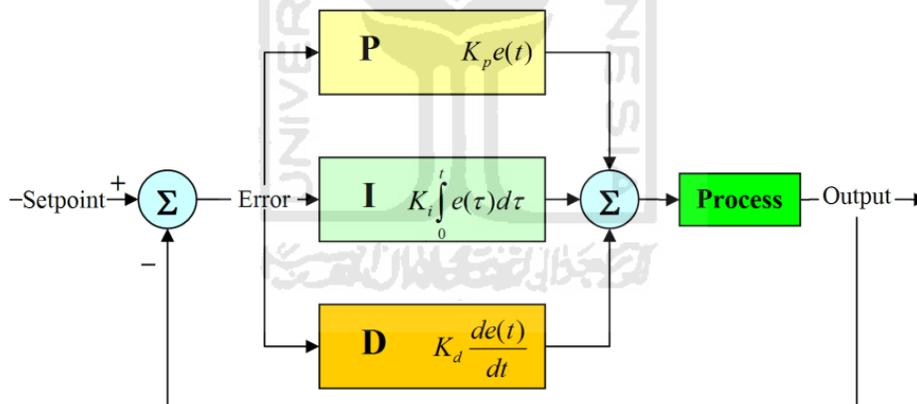
No	Nama Pin	Deskripsi
1	Vss	0 V
2	Vcc	+5V
3	Vee	Tegangan Kontras LCD
4	RS	Register Select, 0=Register Perintah, 1=Register Data
5	R/W	1=Read, 0=Write
6	E	Enable Clock LCD, logika 1 setiap kali pengiriman atau pembacaan data
7	D0	Data bus 0
8	D1	Data bus 1
9	D2	Data bus 2
10	D3	Data bus 3
11	D4	Data bus 4
12	D5	Data bus 5
13	D6	Data bus 6
14	D7	Data bus 7
15	Anode	Tegangan Positif Backlight
16	Katode	Tegangan Negatif Backlight



Gambar 2.6 Pin Out LCD 2x16 Standar

### 2.3. Perangkat Lunak (*Software*)

#### 2.3.1. PID



Gambar 2.7 Blok Diagram PID

PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integral, dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

### 2.3.1.1. Proportional

Kontrol Proportional (P) jika  $G(s) = k_p$ , dengan  $k$  adalah konstanta. Jika  $u = G(s) * e$ , maka :

$$u(t) = K_p * e(t) \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

Dengan  $K_p$  adalah Konstanta Proporsional.  $K_p$  berlaku sebagai gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Pengaruh Kontroler Proporsional (P) terhadap sistem adalah sebagai berikut:

1. Menambah atau mengurangi kestabilan
2. Dapat memperbaiki respon transien khususnya rise time, settling time,
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) error *steady state*.

### 2.3.1.2. Integral

Jika  $G(s)$  adalah kontrol integral (I) maka  $u$  dapat dinyatakan sebagai :

$$u(t) = [\int_0^t e(t)dt] * K_i \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

Dengan  $K_i$  adalah konstanta integral, dan dari persamaan diatas,  $G(s)$  dapat dinyatakan sebagai:

Jika  $e(t)$  mendekati konstan (bukan nol) maka  $u(t)$  akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki error. Jika  $e(t)$  mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan

respon steady-state, namun pemilihan  $K_i$  yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan  $K_i$  yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem. Pengaruh  $K_i$  pada sistem :

1. Menghilangkan Error *Steady state*
2. Respon lebih lambat (dibanding P)
3. Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

### 2.3.1.3. Derivatif

Sinyal kontrol  $u$  yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai :

$$G(s) = s * K_d$$

$$u(t) = K_d * \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks kecepatan atau rate dari error. Dengan sifat ini dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error yang akan terjadi. Kontrol derivatif hanya berubah saat ada perubahan error sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi. Hal ini pula yang menyebabkan kontroler derivatif tidak dapat dipakai sendiri. Pengaruh  $K_d$  pada sistem :

1. Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi
  - ❖ Sehingga bisa memperbesar pemberian nilai  **$K_p$**
2. Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error

3. D hanya berubah saat ada perubahan error, sehingga saat ada error statis D tidak beraksi

❖ Sehingga D tidak boleh digunakan sendiri

PID adalah gabungan dari pengendali *Proportional*, pengendali *Integral* dan pengendali *Derivative*, sehingga memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut:

1. Menggabungkan kelebihan kontroler P, I, dan D

❖ P : memperbaiki respon transien

❖ I : menghilangkan error *steady state*

❖ D : memberikan efek redaman

**Tabel 2.2** Pengaruh  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$

Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	<i>Overshoot</i>	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proporsional ( $K_p$ )	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral ( $K_i$ )	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative ( $K_d$ )	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Sehingga persamaan sinyal kontrol PID adalah sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan  $K_p$  = penguatan proporsional

$T_i$  = waktu integral

$T_d$  = waktu turunan

Jika  $e(t)$  adalah masukan ke kontroller PID, keluaran  $u(t)$  dari pengontrol, sehingga:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

### 2.3.2. Bahasa BASIC Menggunakan BASCOM

BASCOM-AVR adalah program BASIC compiler dengan bahasa tingkat tinggi BASIC berbasis windows untuk mikrokontroller keluarga ATmega.

#### 2.3.2.1. Karakter Dalam BASCOM

Dalam program BASCOM, karakter dasarnya terdiri dari karakter alphabet (A-Z dan a-z), karakter numerik (0-9), dan karakter spesial seperti berikut :

**Tabel 2.3** Karakter Spesial pada BACOM

Karakter	Nama
*	Asterisk (multiple symbol)
+	Plus Sign
,	Comma
-	Minus Sign
.	Period (decimal point)
/	Slash (division symbol)
:	Colon
“	Double quotation mark
;	Semicolon
<	Less than
=	Equal sign
>	Greater than

### 2.3.2.2. Tipe Data

Setiap variable dalam BASCOM memiliki tipe data yang menunjukkan daya tampungnya. Hal ini berhubungan dengan penggunaan memori mikrokontroller. Berikut adalah tipe data pada BASCOM :

**Tabel 2.4** Tipe Data pada BASCOM

Tipe Data	Ukuran (Byte)	Range
Bit	1/8	-
Byte	1	0 – 255
Integer	2	-32,768 - +32,767
Word	2	0 – 65535
Long	4	-214783648 - +214783647
Single	4	-
String	Hingga 254 byte	-

### 2.3.2.3. Variabel

Variabel dalam sebuah pemrograman berfungsi sebagai tempat penyimpanan data atau penampungan data sementara, misalnya menampung hasil perhitungan, menampung data hasil pembacaan register, dan lainnya. Variabel merupakan pointer yang menunjukkan pada alamat memori fisik.

Dalam BASCOM, ada beberapa aturan dalam penamaan sebuah variabel :

1. Nama variabel maksimum terdiri atas 32 karakter.
2. Karakter biasa berupa angka atau huruf.
3. Nama variabel harus dimulai dengan huruf.

4. Variabel tidak boleh menggunakan kata-kata yang digunakan oleh BASCOM sebagai perintah, pernyataan, internal register, dan nama operator (AND, OR, DIM, dan lain-lain).

Sebelum digunakan, maka variabel harus dideklarasikan terlebih dahulu.

Dalam BASCOM, ada beberapa cara untuk mendeklarasikan sebuah variabel. Cara pertama yaitu menggunakan pernyataan DIM diikuti nama tipe datanya.

#### 2.3.2.4. Alias

Dengan menggunakan alias, variabel yang sama dapat diberikan nama yang lain. Tujuannya adalah mempermudah proses pemrograman. Umumnya, alias digunakan untuk mengganti nama variabel yang telah baku, seperti port mikrokontroler.

LedBar **alias** P1

Tombol1 **alias** P0.1

Tombol2 **alias** P0.2

Dengan deklarasi seperti diatas, perubahan pada tombol akan mengubah kondisi P0.1. Selain mengganti nama port, kita dapat pula menggunakan alias untuk mengakses bit tertentu dari sebuah variabel yang telah dideklarasikan.

#### 2.3.2.5. Operasi-operasi Dalam BASCOM

Pada bagian ini akan dibahas tentang cara menggabungkan, memodifikasi, membandingkan, atau mendapatkan informasi tentang sebuah pernyataan dengan menggunakan operator-operator yang tersedia di BASCOM dan bagaimana sebuah pernyataan terbentuk dan dihasilkan dari operator-operator berikut :

### 1. Operator Aritmatika

Operator ini digunakan dalam perhitungan. Operator aritmatika meliputi + (tambah), - (kurang), / (bagi), \* (kali).

### 2. Operator Relasi

Operator ini berfungsi membandingkan nilai sebuah angka. Operator relasi meliputi :

**Tabel 2.5** Operator Relasi

Operator	Relasi	Pernyataan
=	Sama dengan	$X = Y$
$\neq$	Tidak sama dengan	$X \neq Y$
<	Lebih kecil dari	$X < Y$
>	Lebih besar dari	$X > Y$
$\leq$	Lebih kecil atau sama dengan	$X \leq Y$
$\geq$	Lebih besar atau sama dengan	$X \geq Y$

### 3. Operator Logika

Operator logika digunakan untuk menguji sebuah kondisi atau memanipulasi bit dan operator Boolean. Dalam BASCOM, ada empat buah operator logika, yaitu AND, OR, NOT, dan XOR. Operator logika biasa juga digunakan untuk menguji sebuah byte dengan pola bit tertentu, sebagai contoh :

**Dim** A As Byte

A = 63 And 19

PRINT A

A = 10 or 9

PRINT A

Output

16

11

#### 4. Operasi Fungsi

Operasi fungsi digunakan untuk melengkapi operator yang sederhana.



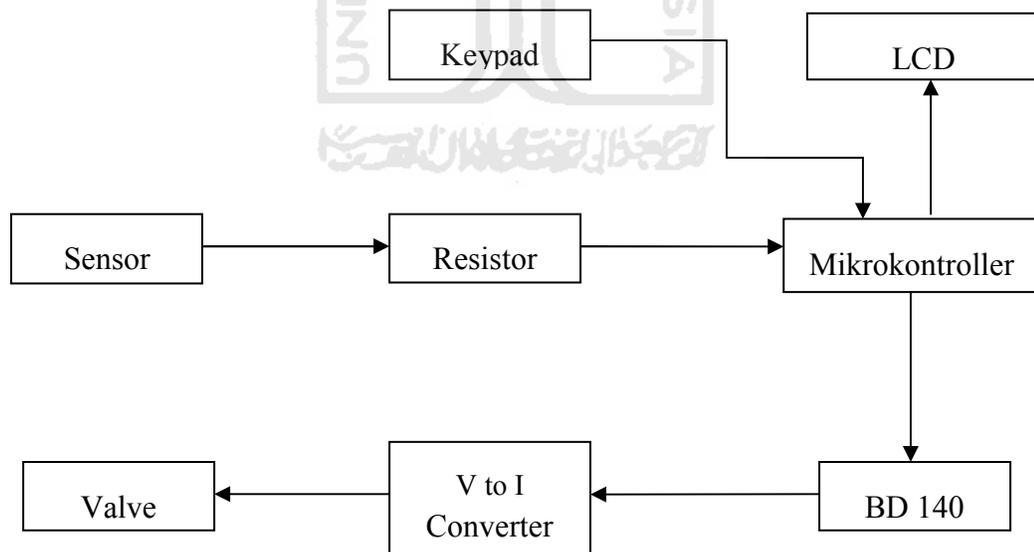
## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1. Perancangan Sistem.

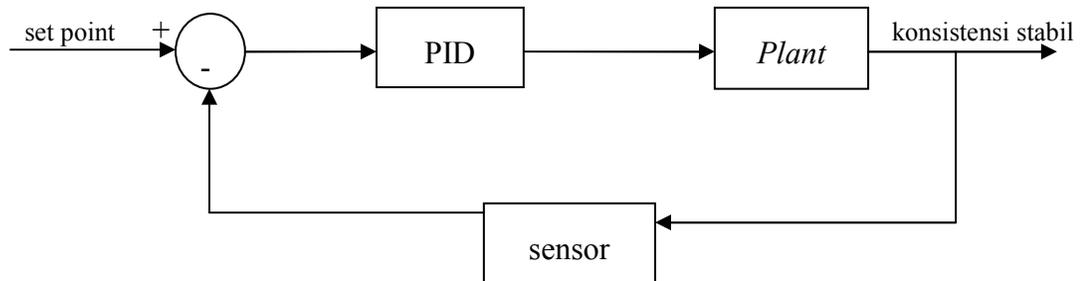
Dalam *plant* pengendali PID pada konsistensi bubuk kertas berbasis mikrokontroller 8535 ini terdiri dari sensor berupa *transmitter consistency*, rangkaian sistem minimum mikrokontroller 8535, rangkaian BD 140, rangkaian *V to I converter*, dan *valve*.

Blok diagram dari sistem pengendali PID pada konsistensi bubuk kertas berbasis mikrokontroller 8535 ini dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 3.1** Diagram Blok Sistem

Sedangkan diagram blok *closed-loop plant* sistem adalah :

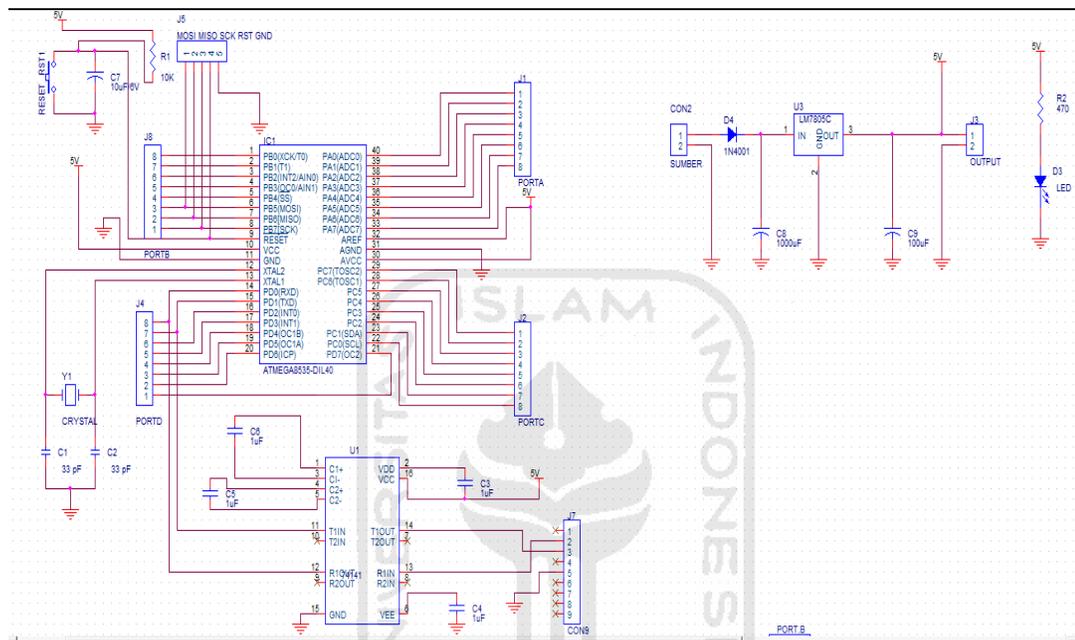


**Gambar 3.2** Diagram Blok *Closed-loop Plant*

Pada diagram blok diatas menggambarkan sistem yang dirancang akan mengukur konsistensi bubuk kertas pada cairan bubuk kertas dengan menggunakan sensor berupa *transmitter consistency* untuk mengetahui seberapa besar konsistensinya dalam satuan persen ( % ). Ketika cairan bubuk kertas mengenai *transmitter consistency* ini maka akan menghasilkan arus sebesar 4 mA - 20 mA. Karena disini sensor menghasilkan arus, maka sebelum masuk ke mikrokontroller 8535 diubah dulu ke dalam bentuk tegangan dengan menggunakan resistor. Setelah diubah ke bentuk tegangan, selanjutnya dibaca oleh ADC internal yang terdapat pada mikrokontroller 8535 dan kemudian data dikalkulasikan dengan rumusan tertentu sehingga pada tahap berikutnya sistem dapat menentukan apakah konsistensi sudah sesuai atau belum. Jika konsistensi bubuk kertas ini belum sesuai, maka *valve* akan diaktifkan untuk mengencerkan bubuk kertas agar sesuai dengan yang diharapkan. Nilai konsistensi yang dipantau oleh sensor akan ditampilkan oleh LCD.

## 3.2. Perancangan *Hardware*

### 3.2.1. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroller 8535



**Gambar 3.3** Rangkaian Skematik Sistem Minimum Mikrokontroller

ATMega 8535

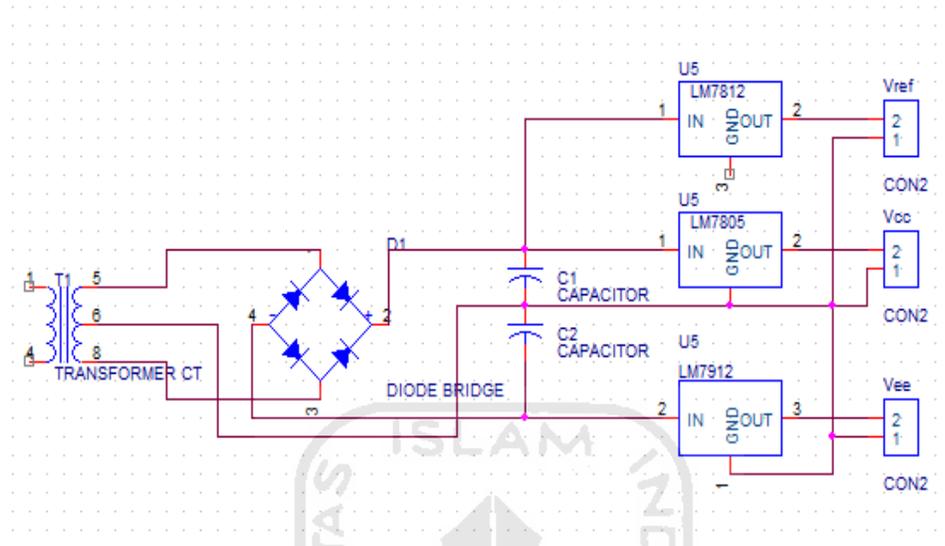
Rangkaian skematik dan *layout* PCB sistem minimum mikrokontroller ATMega 8535 dapat dilihat pada gambar di atas. Rangkaian sistem minimum ini berfungsi sebagai pengendali dan pemroses pada sistem pengendali bubuk kertas. Input rangkaian sistem minimum ini sebesar 5 volt DC yang berasal dari adaptor yang diberi regulator tegangan (LM7805), sedangkan LED hanya berfungsi sebagai indikator apabila ada tegangan yang masuk. Pada mikrokontroller ATMega 8535

mempunyai ADC internal sebesar 10 bit (0 - 1023), sehingga masukan input berupa sinyal analog dari sensor bisa langsung masuk ke mikrokontroler dan diubah dalam bentuk digital dengan adanya ADC tersebut. Output dari mikrokontroler 8535 ini akan diubah ke dalam bentuk tegangan dengan rangkaian BD 140 sehingga akan lebih memudahkan dalam proses selanjutnya yaitu perubahan tegangan menjadi arus yang dibutuhkan untuk menggerakkan *valve*.

Pin 12 dan 13 dihubungkan ke XTAL 12 MHz dan 2 buah kapasitor 33 pF. XTAL ini akan mempengaruhi kecepatan mikrokontroler 8535 dalam mengeksekusi setiap perintah dalam program. Pin 9 merupakan masukan reset. Pulsa transisi dari tinggi ke rendah akan *me-reset* mikrokontroler ini.

Untuk *men-download* file heksadesimal ke mikrokontroler, RXD dan TXD pada pin 14 dan 15 mikrokontroler dihubungkan dengan RS 232. Dari RS 232 ini akan dihubungkan ke RJ 9 sebagai penghubung ke komputer melalui port serial. Selain melalui port serial, bisa juga menggunakan USB *downloader* untuk *download* file heksadesimal yang menggunakan serial USB sebagai penghubungnya dengan komputer. Untuk menggunakan USB *downloader* ini dengan menggunakan Mosi, Miso, Reset, Sck, dan Gnd. Kaki Miso, Mosi, Reset, Sck, dan Gnd pada mikrokontroler terletak pada kaki 6, 7, 8, 9, dan 11. Apabila terjadi keterbalikan pemasangan jalur maka pemrograman mikrokontroler tidak dapat dilakukan karena mikrokontroler tidak akan merespon.

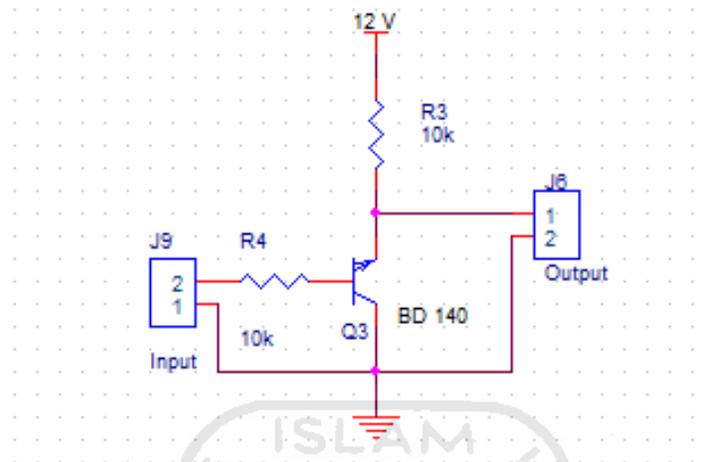
### 3.2.2. Rangkaian *Power Supply*



**Gambar 3.4** Rangkaian Skematik *Power Supply*

Rangkaian *power supply* ini berfungsi untuk men-*supply* tegangan DC untuk beberapa rangkaian yaitu rangkaian mikrokontroler, rangkaian BD 140 dan rangkaian *V to I converter*. Rangkaian ini akan memberikan tegangan DC masing-masing 5 volt, 12 volt dan -12 volt. Rangkaian ini terdiri dari trafo CT yang berfungsi menurunkan tegangan 220 volt menjadi 15 volt, setelah itu disearahkan oleh dioda bridge dan dengan kapasitor 2200 uF akan diratakan. Untuk regulator yang digunakan disini ada dua macam yaitu 12 volt (LM7812) dan -12 volt (LM7912). Kedua regulator ini digunakan untuk menghasilkan tegangan yang tetap 12 volt dan -12 volt walaupun terjadi perubahan pada tegangan masuknya. Kedua output tegangan DC akan digunakan sebagai Vcc dan Vref pada rangkaian yang membutuhkan.

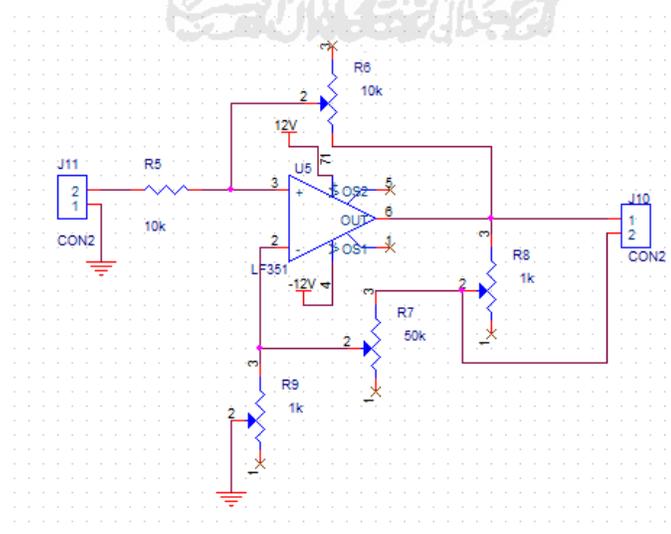
### 3.2.3. Rangkaian Transistor BD 140



**Gambar 3.5** Rangkaian Skematik Transistor BD 140

Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah output mikroprocessor yang berupa PWM ke tegangan. Tegangan input untuk transistor BD 140 ini diberikan sumber tegangan sebesar 12 volt. Output dari rangkaian ini dengan PWM maksimal yaitu tegangan sebesar 5,57 volt.

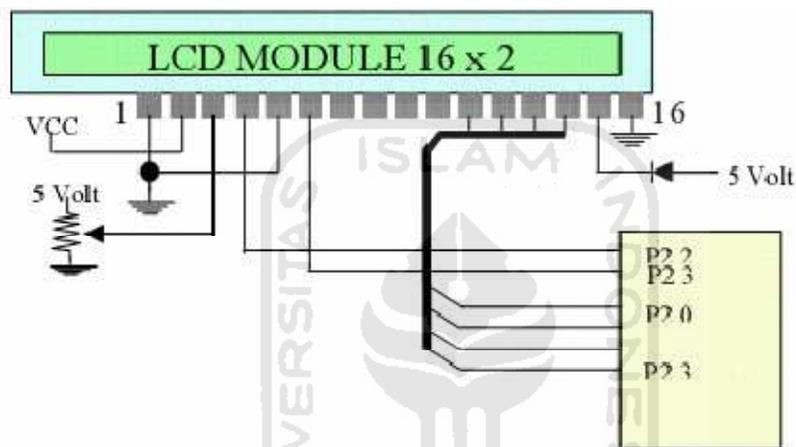
### 3.2.4. Rangkaian *V to I Converter*



**Gambar 3.6** Rangkaian Skematik *V to I Converter*

Dengan rangkaian *V to I converter* ini, tegangan output dari rangkaian transistor BD 140 akan diubah ke dalam bentuk arus. Tegangan yang diberikan adalah tegangan referensi sebesar 12 volt dan -12 volt pada LF351. Output dari rangkaian ini yaitu arus sebesar 4 – 20 mA.

### 3.2.5. Pengaplikasian LCD



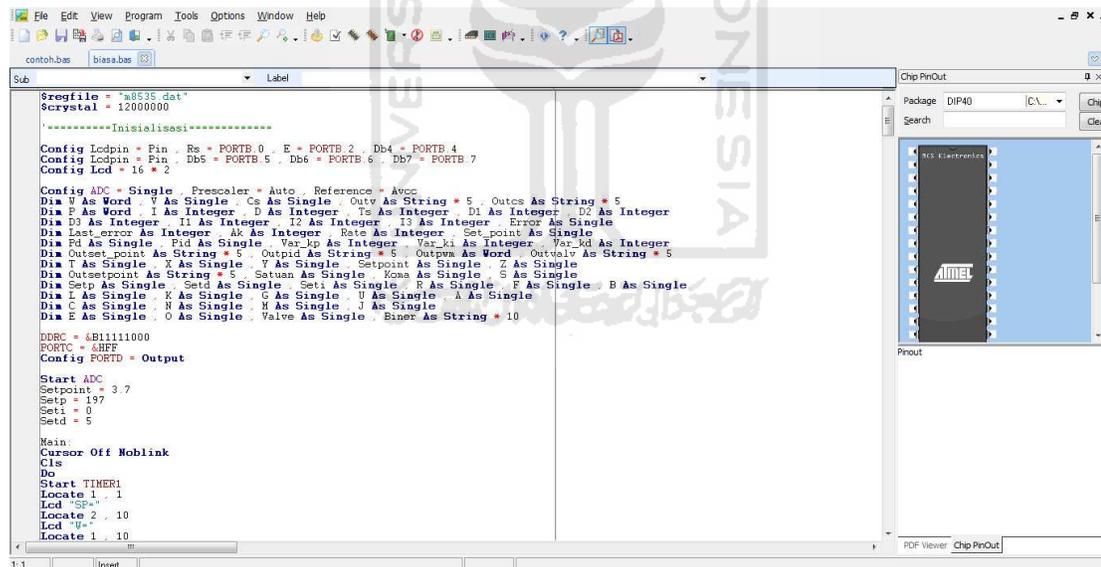
**Gambar 3.7** Rangkaian LCD 2 x 16

Rangkaian LCD berfungsi sebagai media penampil informasi, yaitu menampilkan besarnya konsistensi bubuk kertas, error, tegangan (arus yang diubah ke tegangan dari sensor), dan output. Selain itu juga ada beberapa menu yang bisa ditampilkan jika menekan keypad seperti *set point*, P, I dan D. Pin-pin yang terdapat pada LCD tidak digunakan semua, hanya pada pin 4, 5, 6, dan 7 serta pin ground dan Vcc serta E dan RST yang terhubung langsung dengan ground yang berfungsi sebagai pengatur kontras pada LCD. Jalur data LCD terhubung pada mikrokontroler pada port B (PORTB), sedangkan E dan RS terhubung pada PORTB.1 dan PORTB.0,

sedangkan untuk mengatur kontras LCD dapat diatur dengan memutar resistor variabel 10 k $\Omega$  yang terhubung dengan pin 15 dan pin tengah terhubung langsung dengan pin 3 dan mendapat catu tegangan +5V.

### 3.3. Perancangan *Software*

*Software* BASCOM ini sangat dibutuhkan untuk memprogram mikrokontroler agar bisa memproses data. BASCOM merupakan bahasa BASIC yang sekarang banyak digunakan selain bahasa C dan bahasa assembly. Dalam BASCOM ini hanya menulis program, meng-*compile*, dan memasukkan program tersebut ke dalam chip mikrokontroler.



```

File Edit View Program Tools Options Window Help
contoh.bas  biasa.bas
Sub
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 12000000
*****Inisialisasi*****
Config Lcdpin = Fin , Rb = PORTB.0 , E = PORTB.2 , Db4 = PORTB.4
Config Lcdpin = Fin , Db5 = PORTB.5 , Db6 = PORTB.6 , Db7 = PORTB.7
Config Lcd = 16 * 2

Config ADC = Single Prescaler = Auto Reference = Avcc
Dim V As Word , Y As Single , Cs As Single , Outv As String * 5 , Outcs As String * 5
Dim F As Word , I As Integer , D As Integer , Te As Integer , D1 As Integer , D2 As Integer
Dim D3 As Integer , I1 As Integer , I2 As Integer , I3 As Integer , Error As Single
Dim Last_error As Integer , Ak As Integer , Rate As Integer , Setpoint As Single
Dim Pd As Single , Fpd As Single , Var_kp As Integer , Var_ki As Integer , Var_kd As Integer
Dim Outset_point As String * 5 , Outputd As String * 5 , Outputw As Word , Outputv As String * 5
Dim X As Single , Y As Single , Z As Single , Setpoint As Single , Z As Single
Dim Outsetpoint As String * 5 , Satuan As Single , Rona As Single , S As Single
Dim Setp As Single , Setd As Single , Seti As Single , E As Single , F As Single , B As Single
Dim L As Single , K As Single , G As Single , U As Single , A As Single
Dim C As Single , N As Single , H As Single , J As Single , A As Single
Dim Z As Single , O As Single , Valve As Single , Error As String * 10

DDRC = &B11111000
PORTC = &HFF
Config PORTD = Output

Start ADC
Setpoint = 3.7
Setp = 197
Seti = 0
Setd = 5

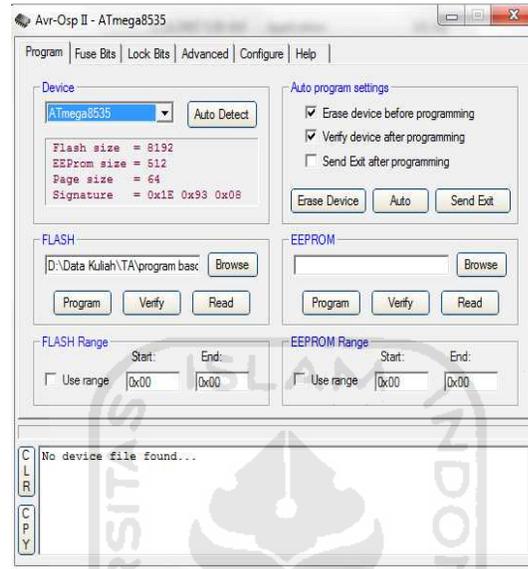
Main:
Cursor Off Noblink
CIs
Do
Start TIMER1
Locate 1 , 1
Lcd "SP="
Locate 2 , 10
Lcd "v="
Locate 1 , 10

```

**Gambar 3.8** Program pada BASCOM AVR

Pada \$regfile, harus ditentukan chip mikrokontroler apa yang digunakan. Ini harus sesuai karena jika tidak sesuai maka chip mikrokontroler tidak akan bisa

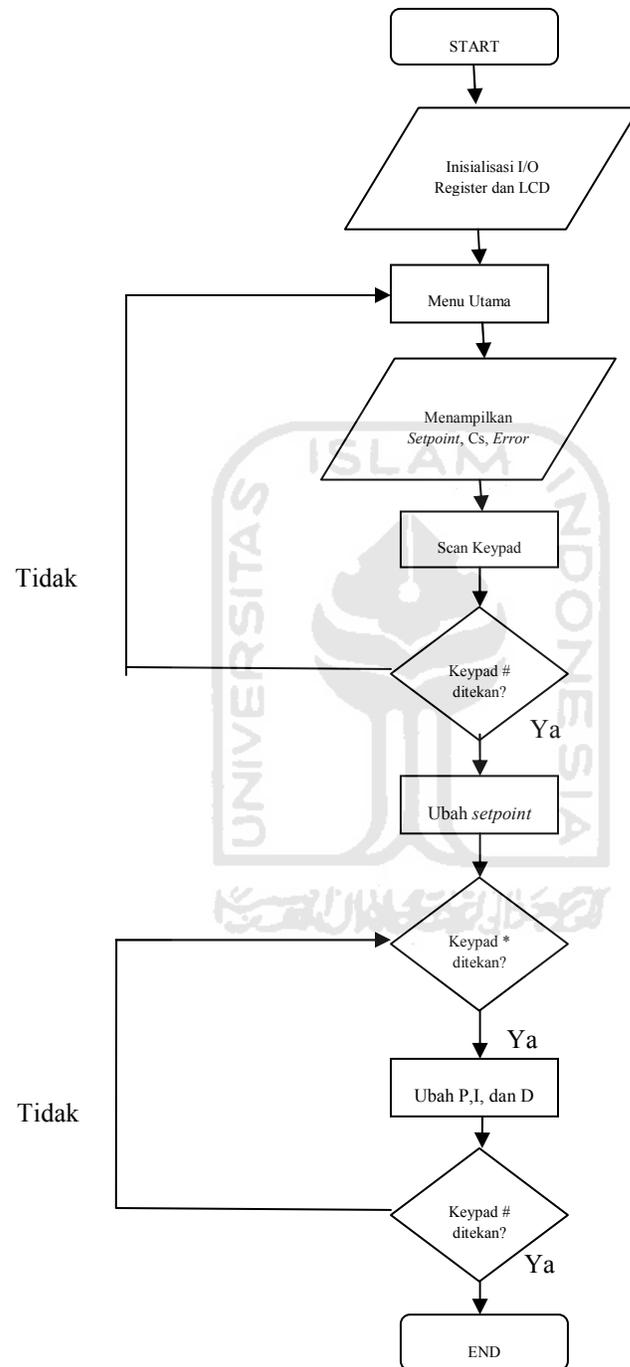
terprogram. Untuk mengetahui apakah chip yang digunakan sudah tersambung dan terdeteksi, dapat menggunakan *software* AVROSP II.



**Gambar 3.9** AVROSP II

Dari gambar diatas bisa dilihat, pada *Device* ada tombol *Auto Detect*, jika ditekan maka mikrokontroller yang sudah tersambung akan secara otomatis terbaca dan muncul nama sesuai dengan mikrokontroller yang digunakan pada kolom disamping *Auto Detect*. Dari sini juga dapat memprogram mikrokontroller apabila bahasa BASCOM yang sudah diketik dan di-*compile* sudah sukses. Untuk memprogramnya pada kolom FLASH, cari dokumen atau program yang tadi sudah dibuat, setelah itu tekan Program maka program tersebut akan di-*download*-kan ke mikrokontroller.

### 3.4. Flowchart Sistem



Gambar 3.10 Flowchart sistem

## BAB IV

### PENGUJIAN, ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Proses Produksi

Pada pengujian alat tugas akhir ini, diuji pada *paper mill* 8 (PM 8) di PT. Pura Nusapersada. Alat ini digunakan untuk menjaga konsistensi bubur kertas yaitu dari *chest 16* ke *chest 17* agar mempunyai konsistensi yang diinginkan. Konsistensi adalah banyaknya kandungan fiber dalam air pada bubur kertas. Produk kertas yang dihasilkan oleh PM 8 antara lain jenis kantong semen (*sack kraft*), *Multi Wall Regular* (MWR), *Multi Wall Extensible* (MWX), *B Kraft* (BK), dan *Medium Liner* (ML).

Pada kertas kantong semen diperlukan kekuatan kertas yang tinggi. Pada proses *stock preparation* diharapkan diperoleh serat panjang dengan fibrilasi yang baik untuk menunjang kekuatan kertas yang ingin dihasilkan. Oleh karena itu, proses fraksinasi dan penggilingan (fibrilasi) banyak digunakan pada tahap ini. Penggunaan kertas box bekas sebagai bahan baku mengandung kontaminan tinggi, sehingga proses *stock preparation*nya lebih menekankan pada pembersihan serat dari kotoran. Untuk kali ini yang akan dibahas adalah tentang pembuatan MWR yaitu berbahan baku 15% *pulp*, 65% sack semen dan 20% NDLC. Disini terdapat 2 jalur *apriori conveyor* yaitu barat dan timur. Untuk *apriori conveyor* sebelah timur digunakan untuk membuat bubur kertas yang khusus berbahan baku *pulp* dan untuk

sebelah barat digunakan untuk membuat bubur kertas berbahan baku dari sack semen yang dicampur dengan NDLK. Di masing-masing *hydra pulper*, bahan baku dihancurkan dengan diberi air terlebih dahulu sehingga waktu dihancurkan dan dalam pembuatan bubur kertas lebih mudah. Konsistensi bubur untuk PM 8 ini dijaga antara 4 – 4,5% dan diharapkan mencapai *freeness* kira-kira 450<sup>0</sup> CSF dengan waktu penguraian sekitar 10 – 20 menit. Buburan dari *hydra pulper* sebelah timur dipompa ke *chest* 4 sedangkan untuk buburan dari *hydra pulper* sebelah barat dipompa ke *chest* 21.

Buburan dari *chest* 4 dipompa ke HDC (*High Density Cleaner*) untuk memisahkan bubur dari fraksi berat atau kotoran yang memiliki *density* lebih tinggi dari buburan seperti stapler, pasir atau kerikil. *Accept* dari HDC dialirkan ke *chest* 5, sedangkan *rejectnya* dibuang. Bubur dari *chest* dipompa ke *MR screen* 1 untuk dibersihkan dari segala kontaminan yang berukuran lebih besar daripada serat. *Accept* dari *MR screen* 1 dibawa ke *thickener* selatan untuk dikentalkan dan selanjutnya dialirkan ke *chest* 20. Untuk *reject* dari *MR screen* 1 dialirkan ke *chest* 19 dan dipompa menuju *MR screen* 2 untuk di pisahkan lagi serat yang tersisa yg masih bercampur dengan kotoran, *accept* dari *MR screen* 2 ini dialirkan ke *thickener* sedangkan *rejectnya* kemudian dialirkan ke *reject pit* (bak pit selatan) dan selanjutnya dipompa ke *hett separator*. *Accept* dari *hett separator* dikembalikan ke *chest* 5, sedangkan *rejectnya* menuju *vibrating screen* untuk disaring lagi dan diambil serat yg terbawa bersama kotoran sehingga bersih dari kotoran.

Bubur yang masuk ke *chest* 20 yaitu dari *accept MR screen* 1 dan 2 akan dipompa menuju ke *chest* 21. Pada *chest* 21 ini akan dicampur antara bubur kertas dari bahan *pulp* dan dari bahan NDLK+sack semen. Setelah semua tercampur selanjutnya dipompa menuju *chest* 2, dari *chest* 2 ini dipompa lagi menuju ke DDR (*Double Disc Refiner*) 1 untuk dihaluskan agar mendapatkan *freeness* sesuai yang diinginkan konsumen sekitar 300 – 350<sup>0</sup> CSF. Dari DDR 1 ini akan dialirkan ke *chest* 3 dan dipompa lagi menuju ke DDR 2 dan 3. Disini juga fungsinya sama dengan DDR 1 yaitu memotong/mencacah agar *freeness*nya sesuai dengan pesanan, digunakan 2 DDR sekaligus 2 dan 3 bertujuan jika pesanan yang diminta lumayan banyak maka 1 DDR saja kurang maka diperlukan tambahan agar kerjanya maksimal dan mesin juga jadi tahan lama karena tidak dipaksa bekerja melebihi kapasitas. Dari DDR 2 dan 3 ini kemudian dialirkan ke *chest* 1 dan dipompa ke *chest* 6 terus ke *chest* 16 dan ke *chest* 17 untuk sampai ke bagian distributor. Akan tetapi pada saat bubur sebelum masuk ke *chest* 17 akan dikontrol konsistensinya melalui *Consistency Indicator Control* (CIC) agar sesuai standar. Di *chest* 17 ini, bubur ditambahkan *biocide* untuk menghindari tumbuhnya jamur dan bakteri pada kertas. Setelah itu maka bubur akan didistribusikan secara konstan menuju ke *Centri Cleaner 1* (CC1) untuk dibersihkan dari kotoran yang masih terbawa dengan bubur seperti pasir. *Accept* dari CC 1 akan langsung dialirkan ke *horizontal screen* untuk memisahkan kotoran lagi seperti debu sehingga bersih dari segala kotoran untuk setelah itu dikirim ke *head box*. Sedangkan *reject* dari CC1 akan dibawa ke *chest* WWC untuk dibersihkan untuk selanjutnya dipompa dengan CC2 *pump*, begitu juga pada CC3

yang kemudian *acceptnya* akan dibawa ke *horizontal screen* dan ke *head box*. Pada *head box* ini minimal konsistensinya adalah 3,2 – 3,8% dengan *freeness* sebesar 300<sup>0</sup> CSF.

Setelah dari unit *stock preparation* PM 8, dari *head box*, buburan masuk ke mesin kertas. PM 8 menggunakan *head box* tertutup, kecepatan mesin bisa diatur sesuai dengan produk yang dihasilkan. Unit paper machine PM 8 ini dibagi dalam beberapa bagian, yaitu :

- Wire Part

Buburan dari *approach flow* masuk ke *head box*, kemudian melalui bukaan *slice stock* didistribusikan secara merata melebar selebar *wire* mesin kertas. Buburan terhampar di atas *wire* dengan bantuan *shaking* dan gaya geser serat, membentuk ikatan dan jaringan antar serat (mulai membentuk lembaran kertas). Jaringan serat yang masih basah ini semakin lama akan semakin kuat sejalan dengan berkurangnya air melalui lubang *wire*. Dengan adanya gaya gravitasi, air dari jalinan serat akan keluar dengan sendirinya melalui *table roll* dan *foil*. Pengeluaran air juga dibantu dengan pemvakuman pada *suction box*, *dandy roll* (berfungsi meratakan dan mengurangi kadar air) dan *crouch roll*, sehingga kadar air pada lembaran akhirnya mencapai  $\pm 80\%$ . Air yang keluar ditampung di *wire pit* untuk dialirkan ke WWC (*White Water Close*).

- Press Part

Lembaran kertas yang masih basah dari *crouch roll* akan dilewatkan pada *roll press part group* untuk mengurangi kadar air pada lembaran. Di PM 8 ada 2

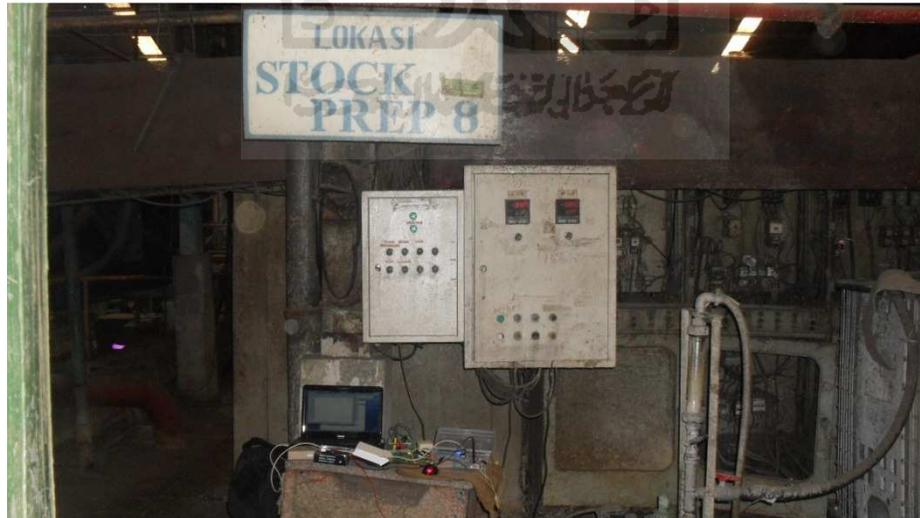
*press part*. Dengan adanya vakum pada *roll section pick up* dan tekanan *roll press*, lembaran kertas akan semakin kering, lebih padat, dan permukaannya semakin halus. Di *press 1* kadar air ditekan hingga sekitar 55 – 60% pada tekanan 70 bar dan pada *press 2* ditekan hingga kadar airnya mencapai 50% dengan tekanan yang sama.

- *Dryer Part*

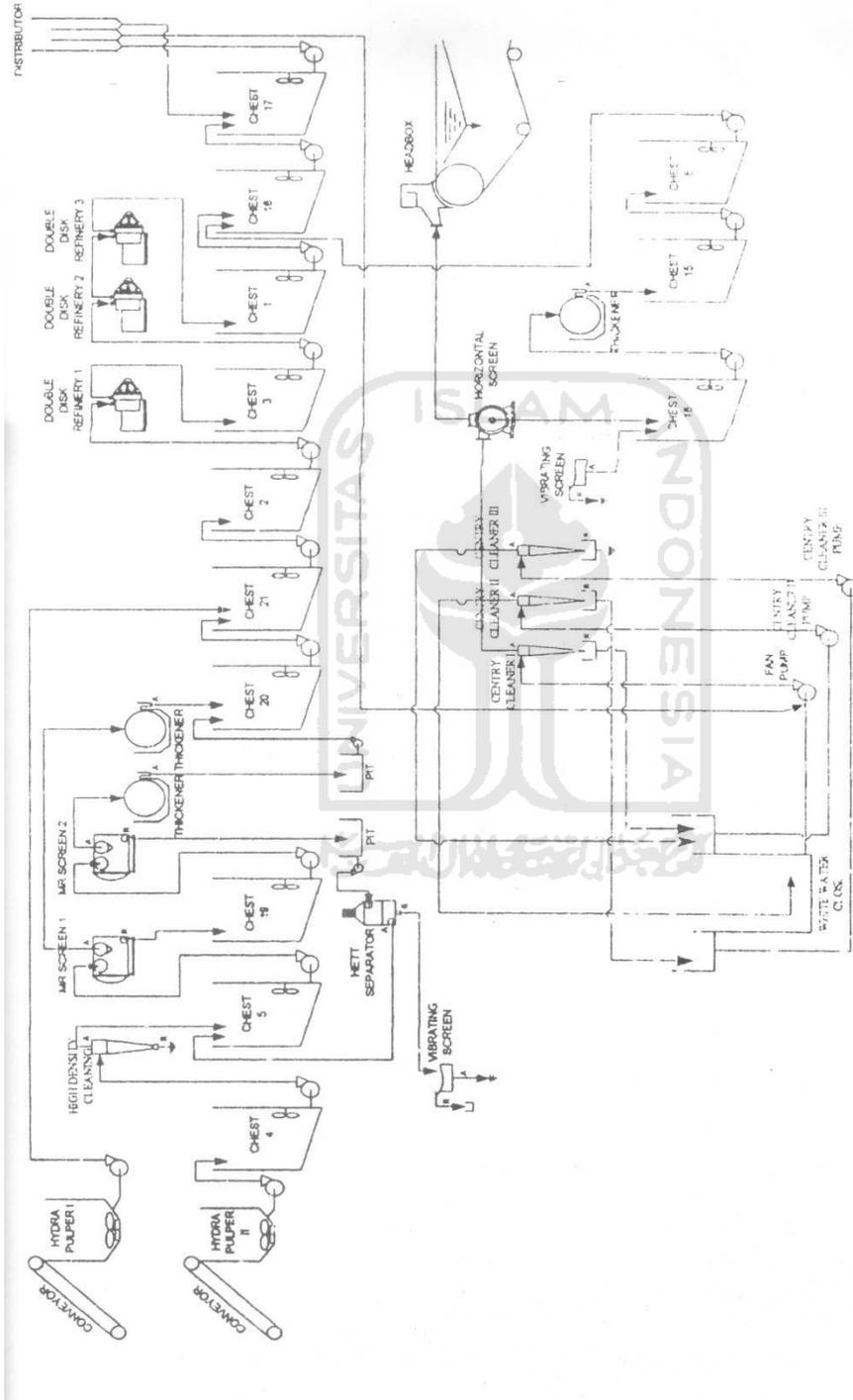
Setelah dari *press part*, lembaran kertas dilewatkan pada bagian pengeringan (*dryer part*) yang terdiri dari 2 group. Pengaturan suhu pada silinder *dryer* dibedakan untuk masing-masing produk kertas. Pada *dryer group 1* akan diatur tekanan dan suhu sesuai dengan kertas yang diproduksi. *Dryer group 1* ini bertindak sebagai pemanasan awal. Suhu silinder diatur meningkat secara bertahap agar tidak terjadi *curl* pada kertas karena pemanasan mendadak. Pada *dryer group 1*, kadar air lembaran kertas akan berkurang menjadi sekitar 23%. Setelah dari *dryer group 1*, maka lembaran dilewatkan pada mesin clupak untuk *microcreeping* (mesin kisut). Mesin clupak ini digunakan pada produksi kertas MWX untuk memberi efek kisut pada kertas sehingga menambah daya regang kertas. Pada produksi kertas MWR keberadaan mesin clupak ini digantikan dengan *sizer press*. Pada *sizer press* biasanya dilakukan penambahan zat warna dan *external sizing*.

Setelah melewati mesin clupak, lembaran kertas masuk ke *dryer group 2* untuk dilakukan pemanasan tahap akhir. *Dryer group 2* terdiri dari 10 silinder *dryer* yang bertekanan sekitar 3 bar dan bersuhu sekitar 80 – 90<sup>0</sup>C. Selanjutnya lembaran kertas dilewatkan pada dua silinder *dryer* terakhir yang merupakan *cooling dryer*, akan tetapi saat ini difungsikan sebagai silinder *dryer* biasa karena pengaruhnya

sebagai *cooling dryer* tidak terlalu Nampak. Suhu pada *cooling dryer* adalah sekitar 50 – 60<sup>0</sup>C. Kadar air pada lembaran kertas berkurang hingga menjadi sekitar 7,5%. Lembaran kemudian digulung dengan *pope reel*. Sebelum digulung dengan *pope reel*, terdapat alat pendeteksi lembaran kertas secara elektronik dengan sistem pengendalian komputer *STEC* yang berfungsi memberikan informasi tentang keadaan lembaran kertas. Alat ini merupakan alat pengendali kualitas lembaran kertas yang mampu menyajikan data grafik kadar air pada lembaran kertas, kecepatan mesin, *grammature* lembaran kertas. Alat ini sangat membantu sebagai sensor untuk mengendalikan proses guna pencapaian kualitas yang diinginkan. Apabila gulungan pada *pope reel* sudah maksimum akan dilakukan penggantian *pope reel*. Pada kondisi ini, *paper machine* tetap memproduksi kertas sedangkan kertas yang terbuang akan dibawa ke *hydra pulper* untuk dijadikan bahan baku bubur.



**Gambar 4.1** Salah Satu Lokasi pada PM 8



Gambar 4.2 Diagram Alir Stock Preparation PM 8



**Gambar 4.3** Penampil Konsistensi dan PID pada PT. Pura Nusapersada



**Gambar 4.4** *Fan Pump*



**Gambar 4.5** Mesin *Wire*

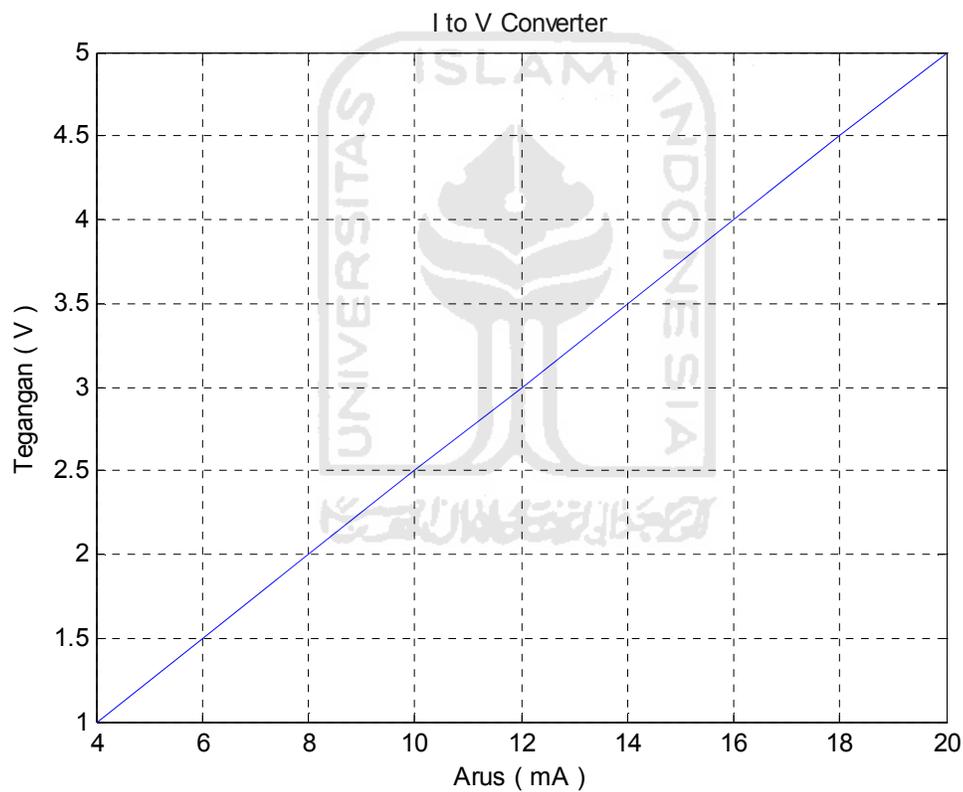
## **4.2. Pengujian *Hardware***

### **4.2.1. Pengujian Rangkaian *Power Supply***

Pada pengujian rangkaian *power supply* ini dilakukan dengan memberikan tegangan AC ke rangkaian *power supply* dan mengamati output keluaran tegangannya dengan multimeter digital. Rangkaian *power supply* ini digunakan untuk memberikan tegangan ke rangkaian mikroprosesor sebesar 12 volt dan ke rangkaian *V to I Converter* sebesar 12 volt dan -12 volt. Rangkaian mikroprosesor dan *V to I Converter* ini bekerja dengan baik, ini membuktikan bahwa rangkaian *power supply* bekerja dengan baik dan sesuai yang diinginkan.

#### 4.2.2. Pengujian *I to V Converter*

Pengujian *I to V Converter* ini menggunakan resistor sebesar 250 ohm. Dengan menggunakan multimeter digital dapat diketahui perubahan tegangan yang diubah dari arus sensor pada input. Dari arus 4 mA – 20 mA diubah ke tegangan dengan resistor 250 ohm.



**Gambar 4.6** Grafik Pengujian *I to V Converter*

**Tabel 4.1** Pengujian *I to V Converter*

Arus (mA)	Tegangan (Volt)
4	1
8	2
12	3
16	4
20	5

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui berupa garis linier dari arus 4 – 20 mA dan tegangan 1 – 5 volt. Jadi semakin besar nilai arus yang diberikan maka semakin besar juga tegangan yang dihasilkan.

#### **4.2.3. Pengujian Rangkaian Pengendali Konsistensi Bubur Kertas**

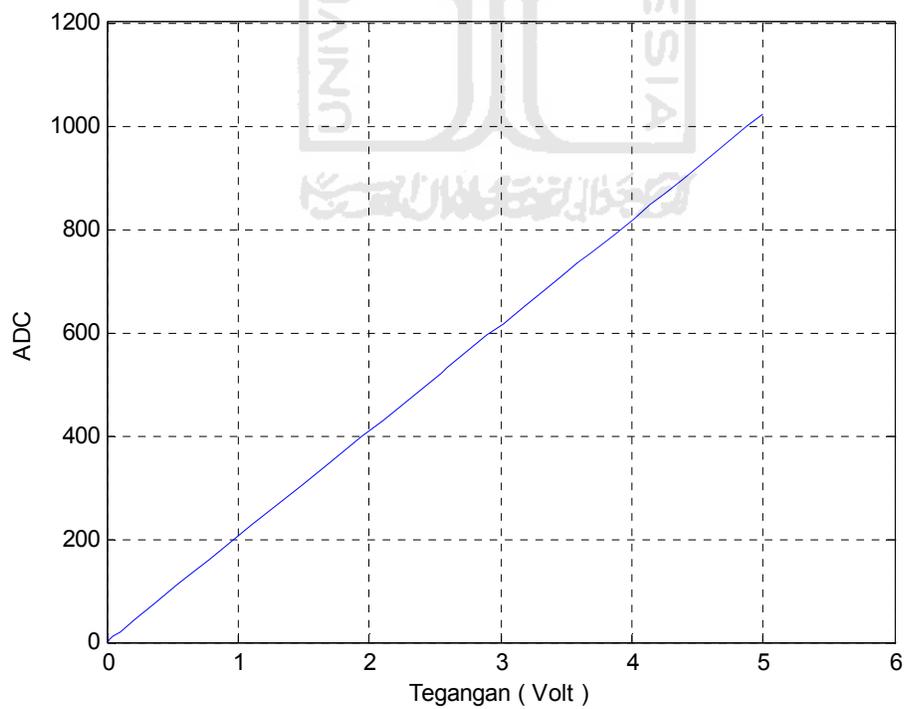
Untuk pengujian rangkaian pengendali konsistensi bubur kertas ini terdapat beberapa pengujian, antara lain :

##### **4.2.3.1. Pengujian ADC**

Dalam mikroprosesor ATmega 8535 terdapat fitur ADC internal yang berguna untuk mengubah besaran analog ke digital sehingga tidak perlu menggunakan ADC eksternal, input dari sensor bisa langsung masuk ke mikroprosesor ini. ADC pada mikroprosesor ini mempunyai bit sebesar 10 bit. Saat tegangan 0 – 5 volt dari input masuk ke dalam mikroprosesor yang berupa analog akan diubah oleh ADC ke dalam bentuk digital berjumlah 10 bit (0 - 1023).

**Tabel 4.2** Pengujian ADC

Tegangan (Volt)	ADC
0	0
1.10025	225
2.10759	431
3.017129	617
3.58926	734
4.014689	821
5.002469	1023

**Gambar 4.7** Grafik Tegangan Input yang Diubah oleh ADC

Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan input yang masuk mikroprosessor diubah 0 - 1023 yang menunjukkan nilai 0 - 5 volt. Grafiknya menunjukkan linieritas yang baik.

#### 4.2.3.2. Hubungan Tegangan dengan *Consistency*

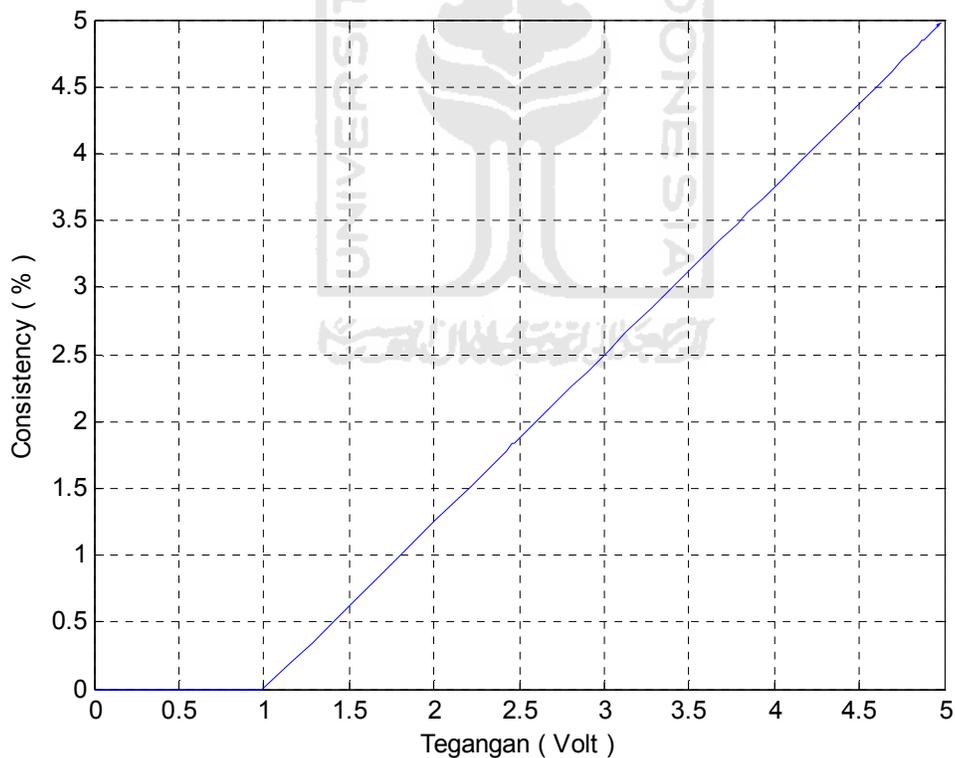
Pada tegangan input yang masuk pada mikroprosessor, akan diubah untuk menampilkan besarnya *consistency* yang terkandung dalam cairan bubuk kertas dengan membandingkan tegangan yang masuk dengan besar *consistency*.

**Tabel 4.3** Pengujian *Consistency* terhadap Tegangan

Tegangan (Volt)	<i>Consistency</i> (%)
4.979852	4.974814
4.153949	3.942436
3.401352	3.00169
3.034826	2.543533
2.472822	1.841027
1.827738	1.034672
1.153332	0.191665
0.987174	0
0	0

Hasil tabel diatas merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan alat yang dibuat. Dapat dilihat hasil tersebut nilainya cukup linier, semakin tinggi tegangan maka semakin tinggi pula nilai *consistency*-nya.

Grafik dibawah menunjukkan bahwa nilai *consistency* bubuk kertas baru ada setelah tegangan diatas 1 volt karena ini merupakan batas bawah sensor *transmitter consistency*. *Transmitter consistency* memberikan arus 4 – 20 mA dan diubah ke tegangan 1 – 5 volt sehingga nilai *consistency* dibawah 1 volt sama dengan 0 % dan pada saat 5 volt tegangannya, nilainya adalah 5 %.

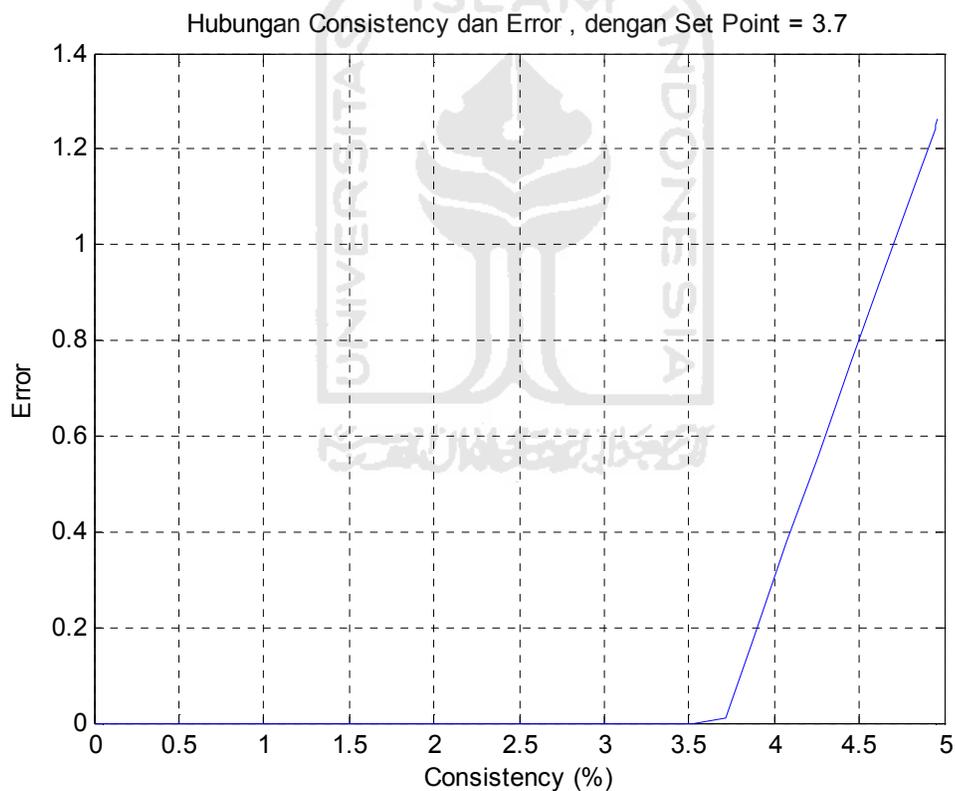


**Gambar 4.8** Grafik Hubungan Tegangan dengan *Consistency*

#### 4.2.3.3. Pengujian *Consistency* dengan *Error*

Untuk mengetahui hubungan antara *consistency* dan *error*, terlebih dahulu ditentukan nilai *set point* agar lebih memudahkan. Disini diberikan nilai *set point* sebesar 3.7%. Semakin *consistency* mendekati *set point* maka *error* akan semakin kecil, sebaliknya jika *consistency* lebih besar dari *set point* maka *error* akan semakin besar. Untuk *consistency* yang dibawah *set point* nilai *error*-nya sama dengan 0.

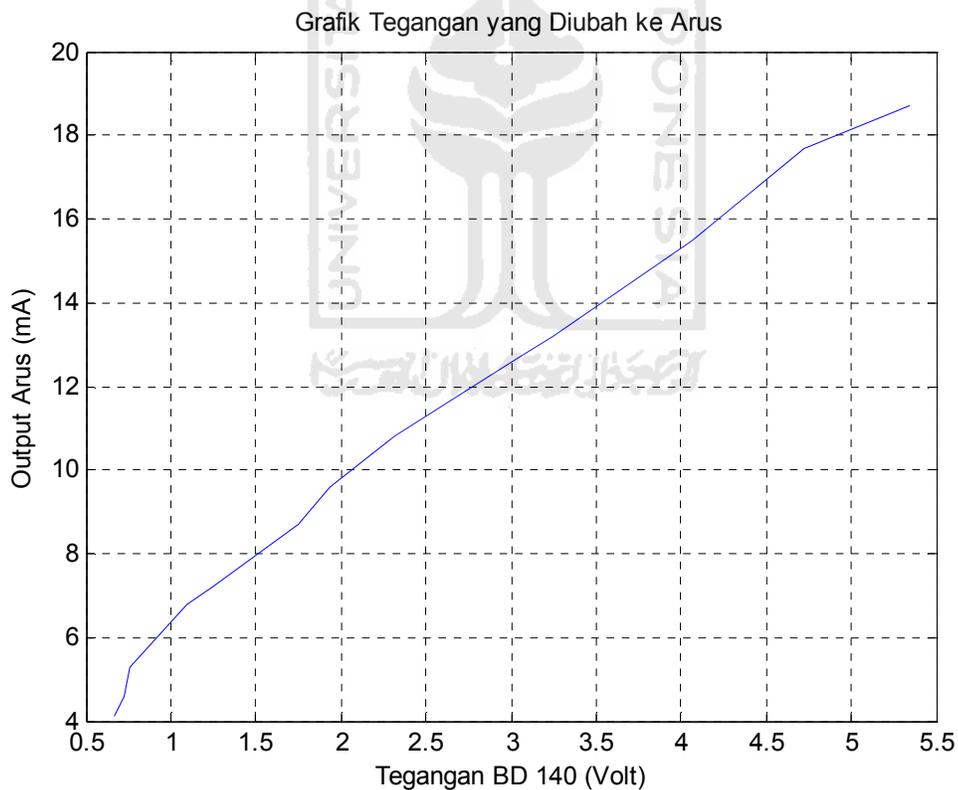
Grafiknya dapat dilihat di bawah ini :



**Gambar 4.9** Grafik Hubungan *Consistency* dan *Error*

#### 4.2.4. Pengujian Rangkaian *V to I Converter*

Dalam pengujian rangkaian *V to I converter* ini, tegangan keluaran dari transistor BD 140 akan diubah ke arus. Hal ini dilakukan karena output yang dibutuhkan pada sistem adalah berupa arus 4 – 20 mA yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan *control valve*. Dari tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian transistor BD 140 sebesar 0,67 – 5,35 volt diubah ke arus sebesar 4 – 20 mA. Tapi dalam pengujian ini hanya dicapai arus maksimal sebesar 19 mA. Semakin besar tegangan dari BD 140, maka semakin besar arus.



**Gambar 4.10** Grafik Tegangan yang Diubah ke Arus

### 4.3. Pengujian Software

*Software* yang digunakan untuk membuat pengendali PID yaitu menggunakan BASCOM-AVR. Dengan mengetikkan program pada BASCOM-AVR untuk pengendali PID dengan benar dan sesuai, maka nilai Kp, Ki, dan Kd dapat diberikan untuk mendapatkan respon yang bagus. Nilai Kp, Ki, dan Kd dapat diberikan menggunakan keypad dan ditampilkan melalui LCD 16 x 2. Program yang dibuat pada BASCOM-AVR nantinya di-*download* menggunakan AVR-OSP II melalui USB *Downloader* ke dalam mikroprosessor.

Untuk contoh program LCD yang ditampilkan langsung pada LCD dapat ditunjukkan pada listing program di bawah ini :

```

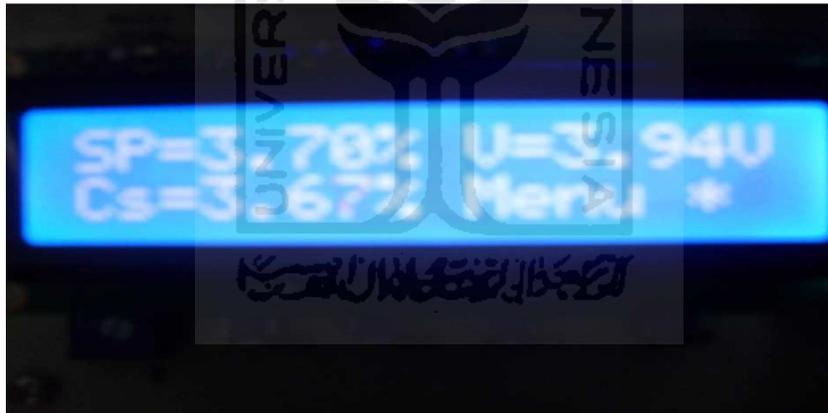
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 12000000
$baud = 9600
Config Lcdpin = Pin , Rs = Portb.0 , E = Portb.2 , Db4 =
Portb.4
Config Lcdpin = Pin , Db5 = Portb.5 , Db6 = Portb.6 , Db7 =
Portb.7
Config Lcd = 16 * 2
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Dim W As Word , V As Single , Cs As Single , Outv As
String*5 , Outcs As String * 5
Dim Outset_point As String * 5 , Outpid As String * 5 ,
Outpwm As Word , Outvalv As String * 5
SP = 3.7
Do
Start Timer1
Locate 1 , 1
Lcd "SP="
Locate 2 , 10
Lcd "Menu(#)"
Locate 1 , 10
Lcd "V="
Locate 2 , 1
Lcd "Cs="
W = Getadc(0)

```

```

V = W * 4.887
V = V / 1000
Outv = Fusing(v , "#.##")
  If V < 1 Then
    Cs = 0
  ElseIf V >= 1 And V < 5 Then
    Cs = V - 1
    Cs = Cs * 1.25
  End If
  Outcs = Fusing(cs , "#.##")
  Outsetpoint = Fusing(setpoint , "#.##")
Locate 1 , 4
Lcd Outsetpoint ; "%"
Locate 1 , 12
Lcd Outv ; " "
Locate 2 , 4
Lcd Outcs ; "%"
Wait 1
Loop
End

```

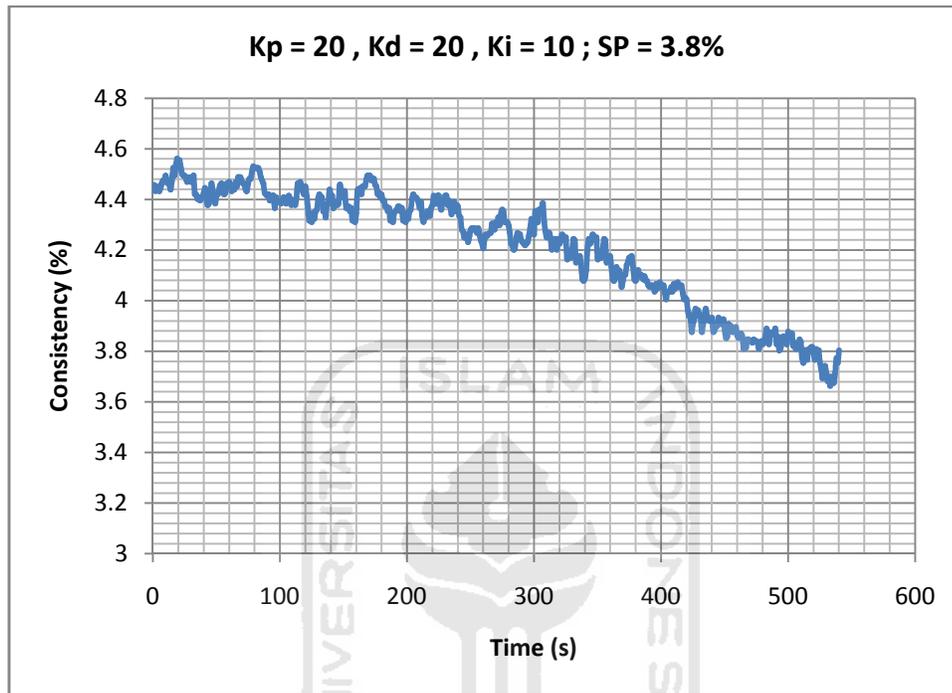


**Gambar 4.11** Program LCD dan Ditampilkan pada LCD

Sedangkan untuk menentukan nilai PID, digunakan cara *trial and error*. Cara ini dilakukan dengan memberikan nilai P, I dan D, setelah itu mengamati hasil yang diperoleh. Dari beberapa hasil percobaan dengan nilai P, I dan D yang berbeda – beda, yang mempunyai performa baik yang dipilih untuk mengendalikan konsistensi bubur kertas.

#### 4.4. Hasil dan Analisa Tuning PID

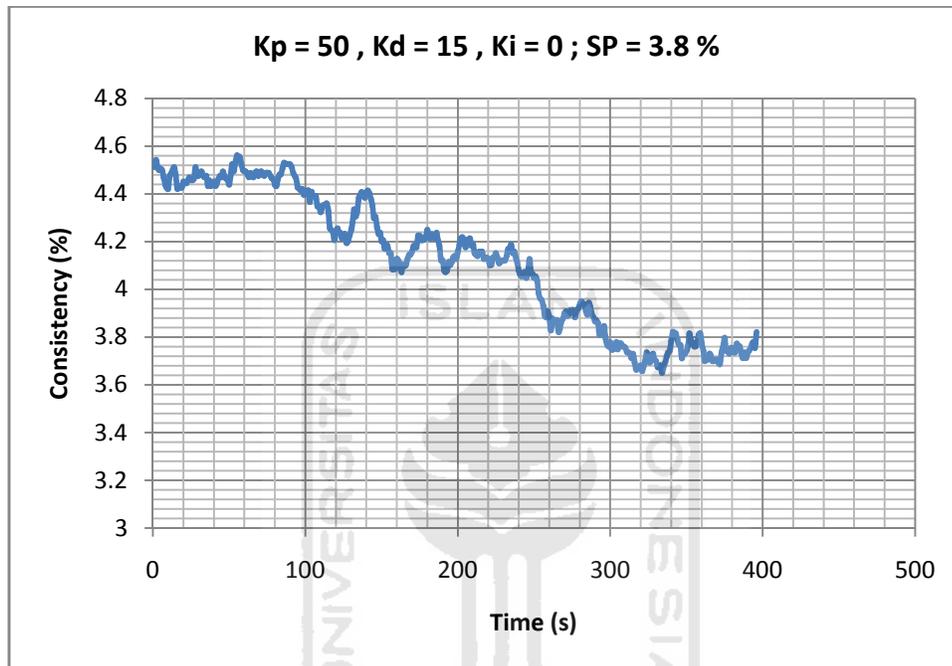
##### 4.4.1. Pengendali PID dengan $K_p = 20$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 10$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.12** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 20$ ,  $K_i = 20$ , dan  $K_d = 10$

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 465 detik ( 7,75 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,14% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang cukup baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil tapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* lebih lama. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,66% dan nilai maksimumnya 3,84%.

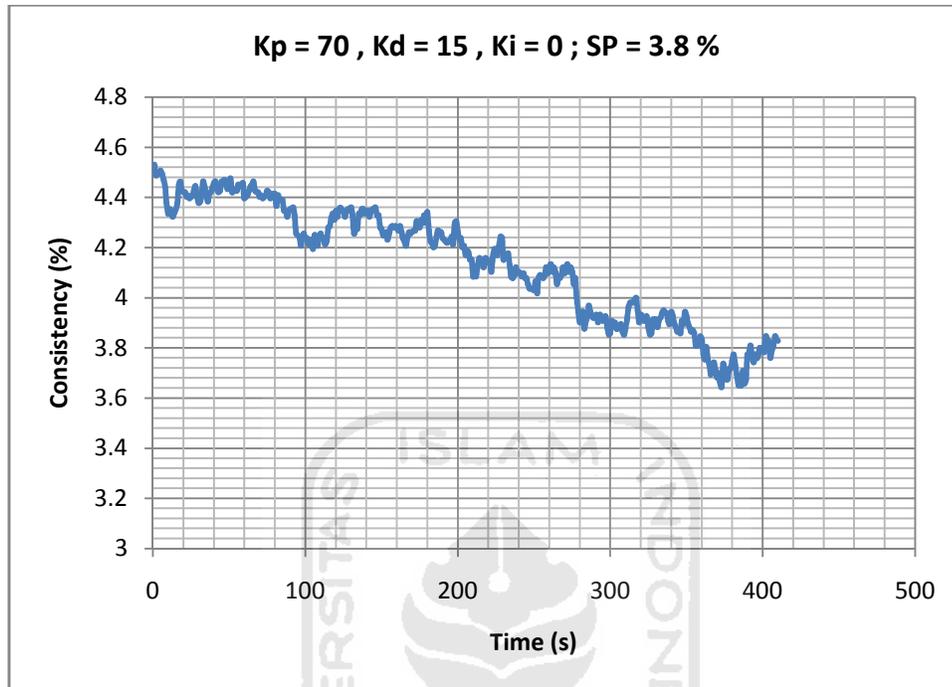
#### 4.4.2. Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.13** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 50$ ,  $K_i = 15$ , dan  $K_d = 0$

Pada grafik di atas terlihat bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 293 detik ( 4,88 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,15% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* lebih cepat. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,65% dan nilai maksimumnya 3,82%

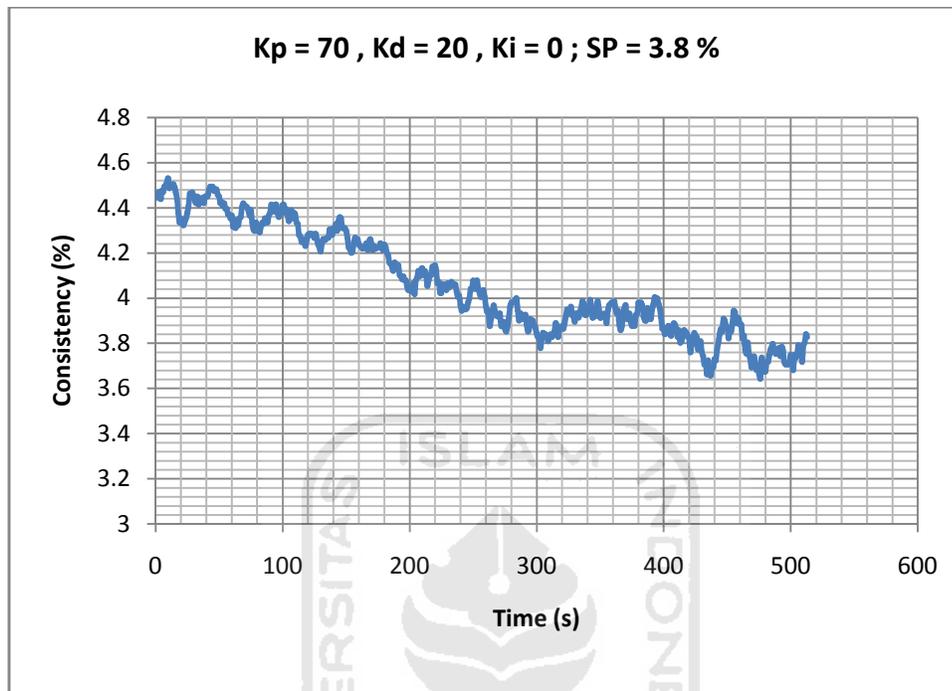
#### 4.4.3. Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.14** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 70$ ,  $K_i = 15$ , dan  $K_d = 0$

Grafik di atas menunjukkan bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 397 detik ( 6,62 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,15% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil tapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* lama. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,65% dan nilai maksimumnya 3,84%.

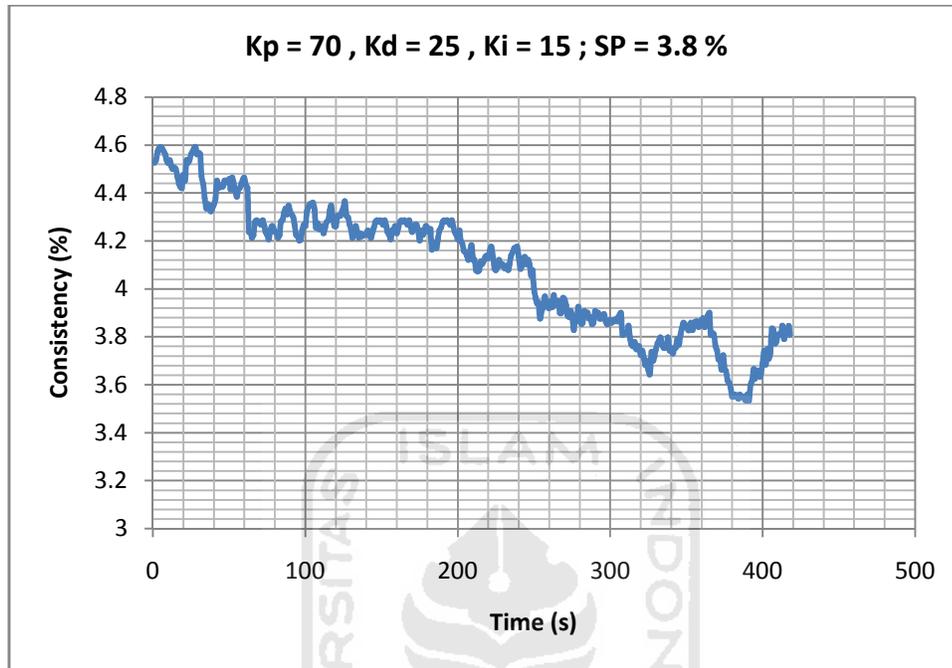
#### 4.4.4. Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 0$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.15** Grafik Respon Set Point 3.8 % dengan  $K_p = 70$ ,  $K_i = 20$ , dan  $K_d = 0$

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 302 detik ( 5,03 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,16% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang cukup baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* cepat. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,65% dan nilai maksimumnya 3,85%.

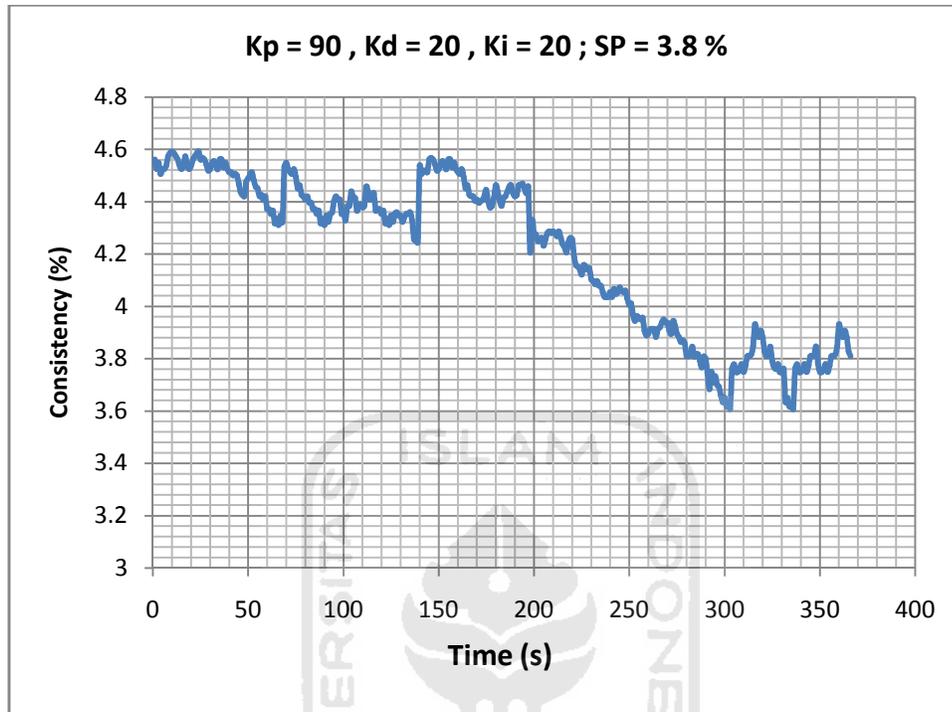
#### 4.4.5. Pengendali PID dengan $K_p = 70$ , $K_i = 25$ , dan $K_d = 15$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.16** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 70$ ,  $K_i = 25$ , dan  $K_d = 15$

Grafik di atas menunjukkan bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 308 detik ( 5,13 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,27% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang kurang baik karena mempunyai *overshoot* yang besar tapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* cepat. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,54% dan nilai maksimumnya 3,90%.

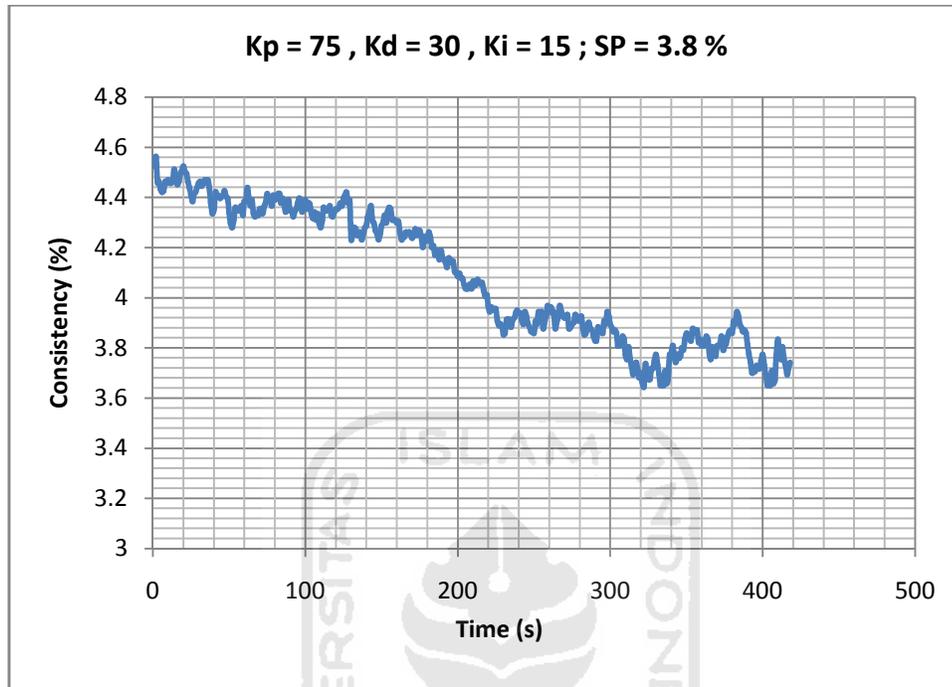
#### 4.4.6. Pengendali PID dengan $K_p = 90$ , $K_i = 20$ , dan $K_d = 20$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.17** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 90$ ,  $K_i = 20$ , dan  $K_d = 20$

Pada grafik di atas terlihat bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 280 detik ( 4,66 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,2% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang kurang baik karena mempunyai *overshoot* yang besar tapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* lebih cepat. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,60% dan nilai maksimumnya 3,89%.

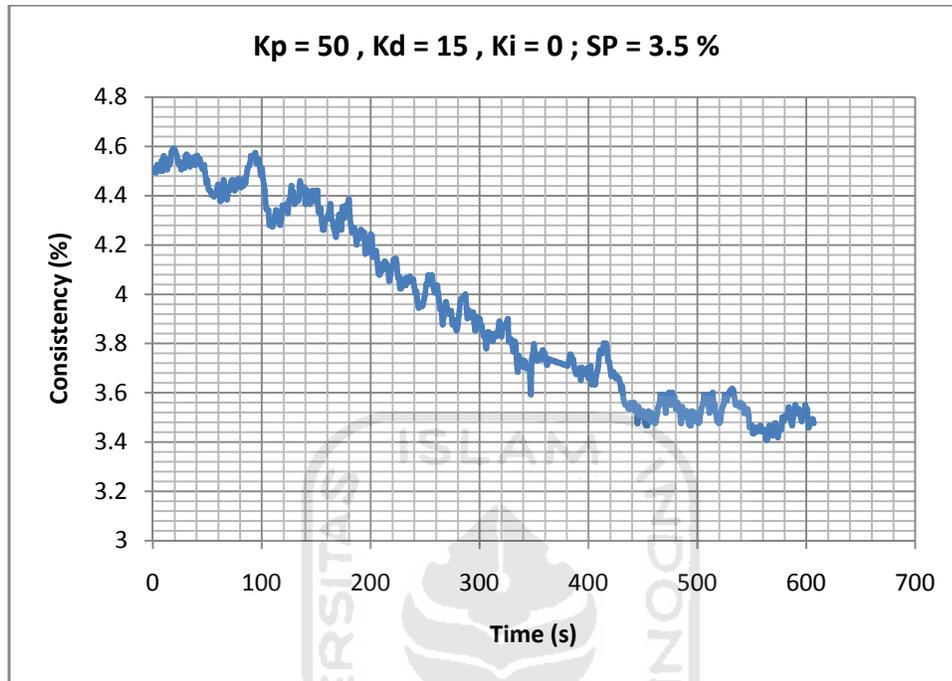
#### 4.4.7. Pengendali PID dengan $K_p = 75$ , $K_i = 30$ , dan $K_d = 15$ ; Set Point = 3.8%



**Gambar 4.18** Grafik Respon *Set Point* 3.8 % dengan  $K_p = 75$ ,  $K_i = 30$ , dan  $K_d = 15$

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,8% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,8% adalah sekitar 312 detik ( 5,2 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,16% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang cukup baik karena mempunyai *overshoot* yang sedikit lebih besar dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *set point* cepat. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,65% dan nilai maksimumnya 3,89%.

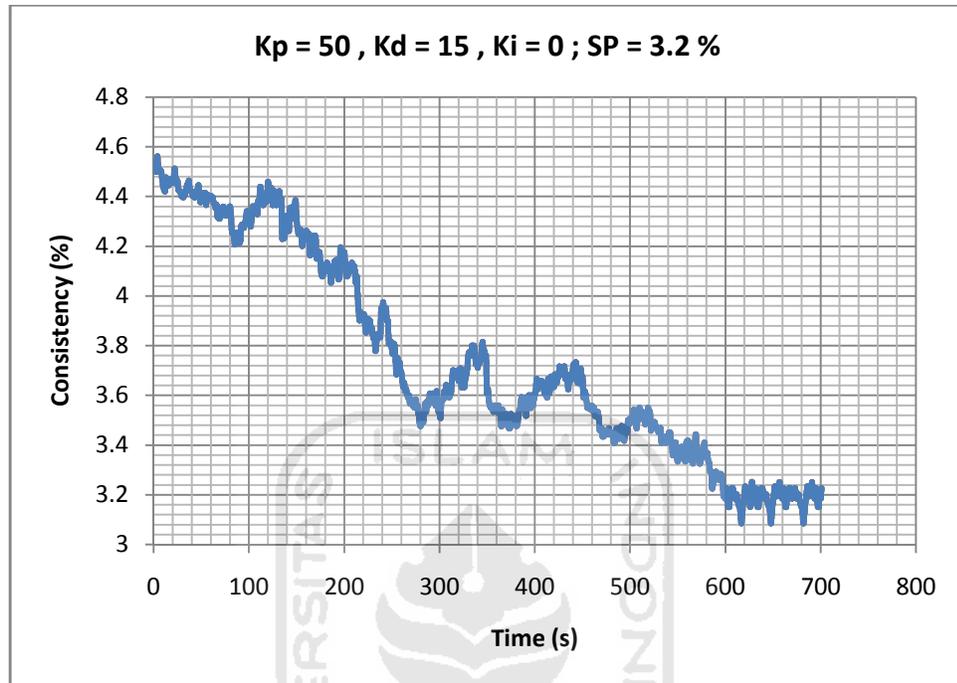
#### 4.4.8. Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ; Set Point = 3.5%



**Gambar 4.19** Grafik Respon *Set Point* 3.5 % dengan  $K_p = 50$ ,  $K_i = 15$ , dan  $K_d = 0$

Dengan memberikan nilai *set point* yang berbeda diharapkan PID masih bisa bekerja dengan baik yaitu mencapai *set point* dan menjaga kestabilannya. Pada grafik di atas terlihat bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,5% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,5% adalah sekitar 449 detik ( 7,48 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,09% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang kurang baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,42% dan nilai maksimumnya 3,60%.

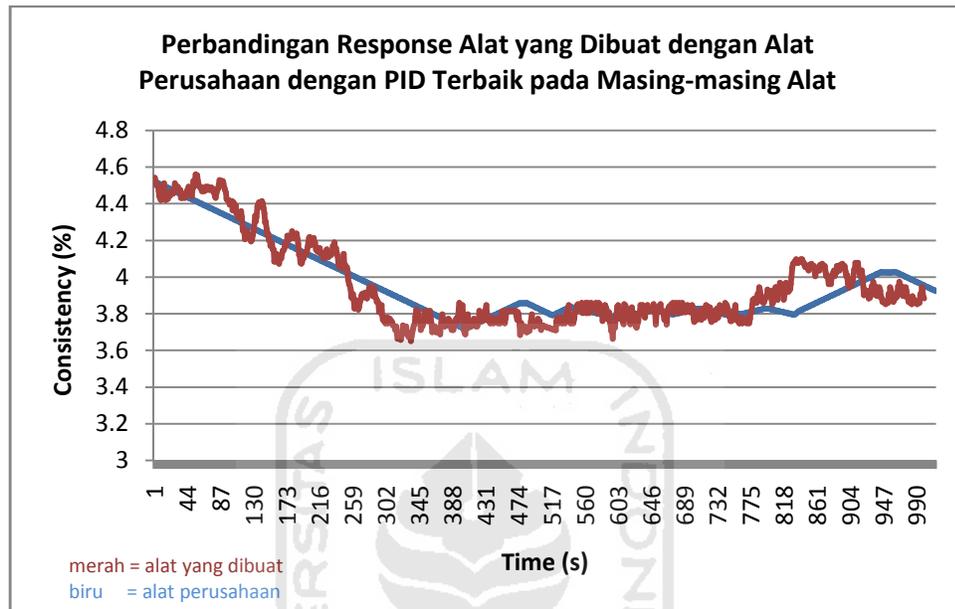
#### 4.4.9. Pengendali PID dengan $K_p = 50$ , $K_i = 15$ , dan $K_d = 0$ ; Set Point = 3.2%



**Gambar 4.20** Grafik Respon *Set Point* 3.2 % dengan  $K_p = 50$ ,  $K_i = 15$ , dan  $K_d = 0$

Pada pengujian PID ini diberikan nilai *set point* sebesar 3,2%. grafik di atas menunjukkan bahwa PID dapat mencapai nilai *set point* yang ditentukan yaitu 3,2% dan dapat menjaga kestabilannya. Setelah mencapai kestabilan maka akan beresilasi terus pada *set point*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 3,2% adalah sekitar 598 detik ( 9,96 menit ). Nilai maksimum *overshoot*-nya kurang lebih 0,13% *consistency*. PID yang diberikan sudah memberikan respon yang kurang baik karena mempunyai *overshoot* yang kecil. Nilai minimum setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,07% dan nilai maksimumnya 3,25%.

#### 4.4.10. Perbandingan Grafik Respon PID Alat yang Dibuat dan Alat Perusahaan dengan *Set Point* = 3.8%



**Gambar 4.21** Perbandingan Grafik Respon PID pada Alat

Dari grafik diatas, respon alat yang dibuat, mempunyai waktu menuju *set point* lebih cepat (295 detik) tapi kurang stabil karena *noise* yang ada. Untuk respon alat perusahaan mempunyai waktu menuju *set point* lebih lambat (395 detik) tapi stabil pada waktu menuju *set point* dan juga stabil dalam menjaga kestabilannya. Nilai minimum alat yang setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,65%, nilai maksimumnya 3,85% dan rata-ratanya sebesar 3,75%. Sedangkan nilai minimum alat perusahaan setelah mencapai *set point* dari grafik diatas yaitu sekitar 3,72%, nilai maksimumnya 3,84% dan rata-ratanya sebesar 3,78%. Dari data yang ditunjukkan, nilai rata-rata dari alat yang dibuat mendekati alat perusahaan dan memenuhi spesifikasi dengan toleransi konsistensi rata-rata dibawah 1,5%.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada plant, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengendalian konsistensi bubur kertas dalam industri kertas sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas kertas yang dihasilkan.
2. Pengendali dengan tipe PID untuk pengendalian konsistensi bubur kertas ini memiliki beberapa kelebihan yaitu waktu naik yang cepat, dapat memperkecil kesalahan, dan dapat meredam kekurangan tanggapan.
3. Dengan menggunakan nilai  $K_p = 50$ ,  $K_d = 15$ , dan  $K_i = 0$  dapat menghasilkan kestabilan yang baik pada konsistensi 3,8% karena mencapai *set point* lebih cepat dan nilai *overshoot* yang kecil.
4. Dengan *set point* yang berbeda ( 3,5% dan 3,2% ), PID yang digunakan dapat memberikan respon grafik yang baik karena dapat mencapai kestabilan dengan relatif cepat dan mempunyai maksimum *overshoot* dibawah 1,5% *consistency*.
5. Respon alat yang dibuat, mempunyai waktu menuju *set point* lebih cepat (295 detik) dan mempunyai rata-rata 3,75% tapi kurang stabil karena masih ada *noise*. Sedangkan respon alat perusahaan mempunyai waktu menuju *set point* lebih lambat (395 detik) dan mempunyai rata-rata 3,78% tapi stabil pada waktu menuju *set point* dan menjaga kestabilannya.

## 5.2 Saran

Diharapkan dengan perancangan sistem pengendali PID konsistensi bubur kertas yang telah direalisasikan pada Tugas Akhir ini dapat menjadi dasar penelitian lebih lanjut, mengingat banyaknya kekurangan yang dihadapi maka diusulkan beberapa saran, yaitu :

1. Untuk menghilangkan noise yang masih terdapat dalam pengujian, bisa lebih dikembangkan lagi rangkaian filter agar noise bisa lebih kecil atau hilang sama sekali.
2. Menggunakan rangkaian *V to I Converter* yang lebih baik lagi agar bisa menghasilkan output arus yang maksimal.
3. Lebih mengembangkan lagi konsep PID ke berbagai bidang lainnya sehingga penggunaannya lebih beragam dari bidang penelitian laboratorium atau bisa langsung diimplementasikan dalam penelitian dibidang industri secara langsung.
4. Mencoba dengan pengendali lain dan hasilnya dibandingkan dengan hasil dengan menggunakan PID agar didapatkan pengendali yang terbaik untuk mengendalikan konsistensi bubur kertas.

## DAFTAR PUSTAKA

Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Terjemahan Edi Laksono, Jilid 2. Jakarta. Penerbit Erlangga.

Armanda, Revan . 2010. *Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur AC Ruangan Berbasis Mikrokontroler 8535*. Universitas Riau. Riau.

Hasibuan, Ade Gustriani. 2009. *Perancangan Inkubator Telur Otomatis Memakai LM35 Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535*. Universitas Sumatra Utara. Medan.

Purnama, Arief Dwi. 2008. *Perancangan Pengering Tembakau Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Logika Fuzzy*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Andika, Roni. 2010. *Perancangan Pengendali PID Digital pada Heater*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

<http://www.scribd.com/doc/50799040/ADC-DAN-PWM-ATMEGA8535>

<http://rikowitumena.blogspot.com/2010/01/converter-tegangan-ke-arus-4-20.html>