

LAPORAN TUGAS AKHIR DIPLOMA

PROGRAM D3 INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA DAN INDUSTRI

**PENGENDALIAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN PENGENDALI PID
ANALOG**



Oleh :

**Ronald Mario
2303210584**

PROGRAM D3 INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA DAN INDUSTRI

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

2007

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Ronald Mario
NPM : 2303210584
Judul : PENGENDALIAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN
PENGENDALI PID ANALOG
Pembimbing : Drs. Arief Sudarmaji, MT

Laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGENDALIAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN PID ANALOG” telah diperiksa dan disetujui sebagai bahan Tugas Akhir Diploma Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, FMIPA UI.

Pembimbing,

(Drs. Arief Sudarmaji, MT)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Tuhan Yang maha Esa yang telah memberikan hikmat dan rahmat – Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.

Tugas akhir yang berjudul “Pengendalian Temperatur Menggunakan Sistem Pengendali PID Analog” ini diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan di Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungannya baik moral, material, maupun spiritual sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar. Ucapan terima kasih tersebut penulis tujukan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan hikmat dan rahmat sehingga penulis diberikan kekuatan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Prawito selaku Ketua Jurusan Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
3. Bapak Drs.Arief Sudarmaji, MT selaku sekretaris Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.dan juga selaku Pembimbing yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, motivasi, bimbingan, dan pengarahan selama tugas akhir.

4. Bapak Surya Darma, MSc selaku Koordinator Tugas Akhir Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
5. Seluruh Staf D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
6. Keluarga khususnya Orang tua tercinta, dan adik yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya.
7. Teman-teman seperjuangan arief, jeperson, erik, seno, qiting, didit dan wahyudi serta gede bawel, erna dan wito serta teman-teman anak kosan rantau yang selalu setia memberikan dukungan, motivasi, dan keceriaan selama tugas akhir berlangsung.
8. Lestyana yang selalu memberikan dukungan serta kesabarannya dalam membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Instrumentasi 2003 yang memberikan bantuannya secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa proyek tugas akhir ini jauh dari sempurna dan masih mempunyai banyak kekurangan. Akan tetapi penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya.

Atas segala bimbingan, kepedulian dalam tugas akhir dan pembuatan laporan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah pengendali temperatur menggunakan PID analog. Dimana terdapat input tegangan mulai dari 0Volt-10Volt yang kemudian memberikan output terbesar +10Volt ke rangkaian plant dari set point. Dan PID yang terdiri dari konstanta proportional, integral dan differensial. Dan resistor $12\Omega/15W$ sebagai heater akan mendapatkan input dari sinyal segitiga pada rangkaian PWM. Dimana heater ditempel dengan heatsink dan sensor temperatur LM35 dirancang menempel pada heatsink jadi sensor tidak mendeteksi suhu langsung dari heater. Output sensor telah dikuatkan 10 kali oleh rangkaian instrumentation amplifier sehingga mendapatkan output $100mV/^{\circ}C$. Blower bekerja ketika dibutuhkan pendingin suhu sehingga suhu dapat dikendalikan dengan baik. Dan sebagai indikator untuk suhu normal, panas dan over masing-masing menggunakan led yang berbeda untuk memudahkan penganalisaan. Dan alat ini dapat bekerja dengan baik.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan penulisan	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Metode Penulisan	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TEORI DASAR	5
2.1. Sensor Temperatur LM35	5
2.1.1. Spesifikasi Sensor LM35	6
2.2. Pengendali PID (Proporsional Integral Differensial)	8
2.2.1.1 Open Loop Control System	11
2.2.1.2 Closed Loop Control System	11
2.2.2. Pengendali pada PID	12
2.2.2.1 Pengendali Proportional (P)	12
2.2.2.2 Pengendali Integral (I)	13
2.2.2.3 Pengendali Differensial (D)	14

2.2.2.4	Pengendali PID Struktur Pararel.....	14
2.2.2.5	Pengendali PID Struktur Seri.....	15
2.2.2.6	Pengendali PID Struktur Mix.....	16
2.3.	Operational Amplifier.....	17
2.3.1.	Ideal Op-Amp	18
2.3.2.	Ideal Inverting Amplifier	18
2.3.3.	Non Ideal Op-Amp	19
2.3.4.	Spesifikasi Op-amp.....	19
2.3.5.	Aplikasi Op-Amp.....	20
2.3.6.	Rangkaian Op-AMP Dalam Instrumentasi	21
2.3.6.1	Voltage Follower	21
2.3.6.2	Inverting Amplifier	22
2.3.6.3	Summing Amplifier	22
2.3.6.4	Non Inverting Amplifier	23
2.3.6.5	Differential Instrumentation Amplifier.....	24
2.3.6.6	Common Mode Rejection.....	24
2.3.6.7	Common Mode Ratio Rejection	25
2.3.6.8	Differential Amplifier	25
2.3.6.9	Instrumentation Amplifier	26
2.3.6.10	Konverter Tegangan ke Arus	28
2.3.6.11	Konverter Arus ke Tegangan.....	29
2.3.6.12	Penguat Differential	29
2.3.7	Diagram OP-amp	30

2.4 Heater dan Blower	31
2.5 Pulse Width Modulation (PWM)	32
BAB 3 PERANCANGAN DAN CARA KERJA PENGENDALI TEMPERATUR DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM PENGENDALI PID ANALOG	34
3.1. Perancangan	34
3.2. Cara kerja	36
3.2.1. Power Suply	36
3.2.2. Set Point	37
3.2.3. PID (Proporsional Integral Differensial)	38
3.2.4. Temperature Control Sistem	39
BAB 4 PENGUJIAN ALAT DAN DATA ANALISA	41
4.1. Pengambilan data percobaan	41
4.2. Analisa data percobaan	43
4.3 Simulasi Rancangan Rangkaian Pengendalian Temperatur Menggunakan PID Analog	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.0 Diagram Skematik Sensor LM35.....	7
Gambar 2.1 Diagram Pengendalian Proportional.....	12
Gambar 2.2 Grafik respon Pengendali Proportional	13
Gambar 2.3 Grafik Respon Pengendalian Integral.....	13
Gambar 2.4 Grafik Respon Pengendali Differensial.....	14
Gambar 2.5 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Paralel.....	15
Gambar 2.6 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Seri	15
Gambar 2.7 Persamaan Matematis output PID.....	16
Gambar 2.8 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Mix	17
Gambar 2.9 Op-amp.....	18
Gambar 2.10 Ideal Inverting Amplifier.....	19
Gambar 2.11 Offset Op-amp.....	21
Gambar 2.12 Voltage Follower.....	22
Gambar 2.13 Summing Amplifier	23
Gambar 2.14 Non Inverting Amplifier	23
Gambar 2.15 Differential Amplifier.....	25
Gambar 2.16 Instruentasi Amplifier Voltage Follower.....	26
Gambar 2.17 Kompensasi input offset.....	27
Gambar 2.18 Tegangan ke Arus.....	28
Gambar 2.19 Arus ke Tegangan.....	29
Gambar 2.20 Penguat Differensial.....	30
Gambar 2.21 Diagram blok Op-amp	30

Gambar 2.22 Diagram schematic simbol Op-Amp.....	31
Gambar 2.23 Sinyal PWM dengan duty cycle 50%	32
Gambar 2.23 Sinyal PWM dengan duty cycle 10%	33
Gambar 3.1 Plant rangkaian PID controller.....	34
Gambar 3.2 Plant rangkaian system pengatur suhu (temperatur)	35
Gambar 3.3 Plant rangkaian set point.....	35
Gambar 3.4 Plant rangkaian power suply.....	36
Gambar 3.5 Susunan sistem pembuatan rangkaian.....	36
Gambar 3.6 Skematik rangkaian Power Supply	37
Gambar 3.7 Skematik rangkaian Set Point.....	38
Gambar 3.8 Skematik rangkaian PID	39
Gambar 3.9 Skematik rangkaian pengontrol system temperatur	40
Gambar 4.1 Simulasi rancangan rangkaian pengendalian temperatur menggunakan PID analog.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Efek masing-masing PID pada sistem kontrol.....	9
Tabel 2 Data hasil percobaan 1	42
Tabel 3 Data hasil percobaan 2	42



BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pendahuluan yang mendasari penulis dalam membuat tugas akhir ini.

1.1. Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat menunjang efisiensi dan efektifitas kerja manusia disegala bidang. Selain itu, penemuan-penemuan dalam teknologi dan pengembangan ilmu pengetahuan juga memberikan kemudahan dalam segala bidang pada kehidupan manusia. Oleh karena itu dibutuhkan sumber daya manusia yang berkualitas yang mempunyai pengetahuan dan keterampilan sebagai penunjang teknologi yang semakin berkembang saat ini.

Pada era globalisasi saat ini teknologi berkembang dengan begitu pesat, salah satunya teknologi di bidang elektronika khususnya sistem sensor. Sistem sensor dapat terjadi karena adanya keinginan manusia yang ingin melakukan segala sesuatu dengan cepat, mudah, praktis dan efisien.

Manusia mempunyai kemampuan yang terbatas oleh karena itu sistem sensor dapat meringankan keterbatasan yang dimiliki oleh manusia. Manusia hanya perlu mengembangkan sistem sensor untuk meningkatkan efisiensi sehingga proses yang diinginkan berjalan dengan baik dan efektif.

Untuk mengembangkan suatu sistem sensor diperlukan pemahaman dan pengalaman yang mendalam tentang instrumen-instrumen yang akan digunakan,

mengenai komponen-komponen yang menyusunnya serta prinsip kerja dari instrumen tersebut sehingga pengembangan sistem sensor dapat digunakan sesuai keinginan.

Pada saat ini sensor bukanlah suatu peralatan yang asing lagi karena telah banyak dipelajari dan digunakan oleh berbagai bidang khususnya di bidang Instrumentasi Elektronika. Dalam bidang ini terdapat bermacam-macam sistem sensor. Sebagai contoh sensor cahaya, sensor infra merah, sensor temperatur, sensor arus, sensor tegangan, sensor ultrasonik, sensor posisi dan yang lain-lainnya.

Dan seiring dengan perkembangan zaman, semakin luas pulalah kebutuhan kehidupan sehingga menuntut kita untuk semakin meningkatkan kualitas ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang pengendalian.

Dalam tugas akhir ini penulis berkesempatan untuk membuat pengendali suhu (temperatur) dengan menggunakan PID analog dengan pengkalibrasian besaran tertentu.

1.2 Tujuan Penelitian

Pada jaman yang serba modern ini, manusia dituntut untuk mengerjakan segala sesuatunya serba cepat baik dalam pekerjaan sehari-hari ataupun dalam industri. Sehingga orang menjadi berpikir untuk membuat berbagai peralatan yang dapat mempercepat menyelesaikan pekerjaan mereka. Dalam dunia industri dibutuhkan berbagai sistem pengendalian misalnya pengendalian level, pengendalian temperatur, pengendalian flow, ataupun pengendalian pressure. Misalkan sistem temperatur pada industri yang digunakan beragam jenis contohnya mempertahankan suhu yang diinginkan dalam membuat suatu barang produksi mis: mengendalikan suhu pada ruang pendingin supaya ice krim bisa tetap beku dan tidak mencair. Dan tujuan penelitian kali ini adalah membuat sebuah pengendali temperatur menggunakan PID analog. Dan alat ini sangatlah

penting bagi pengendalian suhu-suhu yang diinginkan pada industri maupun pada kehidupan sehari-hari.

1.3 Pembatasan Masalah.

Dalam laporan tugas akhir ini, bahasan akan dibatasi pada analisa cara kerja sistem pengendalian temperatur dengan menggunakan sistem pengendali PID analog..

1.4 Metode Penulisan.

Metode yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Penulisan Literatur

Metode ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang selengkap-lengkapnya, dilakukan melalui berbagai pustaka antara lain : buku, internet, majalah, dan bentuk penulisan lain yang berhubungan dengan penulisan ini.

2. Mempelajari prinsip kerja dari rangkaian dan pengambilan data

Melakukan pengamatan pada alat yang dibuat dan mengambil data sebagai bahan penganalisaan serta mempelajari prinsip-prinsip kerja rangkaian tersebut.

3. Diskusi

Tahap ini merupakan proses tanya jawab mengenai kelebihan dan kekurangan dari rancangan rangkaian yang akan dibuat. Dengan adanya diskusi ini diharapkan memperoleh petunjuk tertentu, sehingga tidak terlalu besar nilai kesukaran yang akan dihadapi. Point ini merupakan point parameter berpikir tambahan bagi penulis.

4. Pembuatan Alat

Metode ini merupakan tindak lanjut dari tahap – tahap sebelumnya, yaitu untuk merealisasikan alat sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

5. Analisis.

Dalam metode ini berbagai macam data yang terjadi akibat dari berbagai kondisi yang terdapat pada alat dicatat dan dipelajari. Selanjutnya dapat ditarik kesimpulan untuk pengembangan lebih lanjut.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada penulisan laporan Tugas Akhir ini, dapat dibuat urutan bab serta isinya secara garis besar. Diuraikan sebagai berikut :

BAB I. Merupakan bab pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II. Merupakan bab tinjauan atau teori dasar

Pada bagian ini akan dibahas dasar teori dari pengendali temperature dengan menggunakan PID analog.

BAB III. Merupakan perancangan dan cara kerja alat

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai pembuatan alat serta cara kerja dari PID.

BAB IV. Merupakan bab analisa pengujian alat dan cara kerja alat

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian alat serta pengambilan data yang diperoleh di lapangan agar dapat diketahui efisiensi dan optimalisasi system pada tahap penyelesaiannya, dengan harapan pada proses pembuatan berjalan lebih efektif dan efisien.

BAB V. Kesimpulan

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari pengendali temperatur dengan menggunakan PID analog.

BAB 2

TEORI DASAR

Pada bab ini akan dijelaskan tentang beberapa teori yang mendasari penulis dalam membuat tugas akhir ini.

2.1 Sensor Temperatur LM35

Dalam lingkungan system pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, telinga, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroller (PID) sebagai otaknya. Sensor banyak digunakan dalam bidang instrumentasi elektronika maupun industri salah satunya sensor suhu (temperature).

Pada alat ini saya menggunakan sensor suhu. Sensor suhu yaitu sensor atau saklar yang dapat mendeteksi suatu suhu ruangan atau benda yang ada di sekeliling sensor. Sensor ini akan mendeteksi suhu dan dikendalikan oleh kontroller (PID). Dan saya menggunakan sensor suhu LM35D.

LM35 merupakan IC (integrated-circuit) presisi sensor temperature, dimana tegangan output proporsional linear pada temperature Celcius (centigrade).

LM35 mempunyai keuntungan linear atas sensor temperature yang dikalibrasi pada derajat kelvin, sebagai pengguna tidak perlu mengurangi sebuah tegangan besar dari output ini untuk memperoleh skala *centigrade*. LM35 tidak memerlukan banyak kalibrasi eksternal atau hiasan apapun untuk menyediakan akurasi/ketelitian dari $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ pada temperature ruang dan $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ range temperature diatas (over a full) -55 sampai $+150^{\circ}\text{C}$.

LM35 memiliki impedensi output yang rendah, output linear, dan kalibrasi tepat membuat interfacing membaca atau control circuit yang mudah.

LM35 dapat juga digunakan dengan single power supply, atau dengan plus dan minus supply. Seperti digambarkan hanya 60 μA dari supply ini, LM35 mempunyai self-heating yang sangat rendah, lebih kecil dari 0.1°C di udara. LM35 beroperasi pada range temperature -55° sampai $+150^\circ\text{C}$, disamping LM345C adalah nilai untuk range -40° sampai $+110^\circ\text{C}$ (dengan ketelitian yang ditingkatkan -10°)

Seri LM35 dapat dikemas pada transistor pack (kemasan transistor) TO-46, disamping LM35C, LM35CA, dan LM35D juga tersedia pada plastic kemasan transistor TO-92. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package. LM35D juga tersedia pada permukaan 8-lead menaiki garis kecil kemasan dan kemasan plastic TO-220.

2.1.1 Spesifikasi Sensor LM35

Berikut ini merupakan beberapa spesifikasi dari sensor LM35:

1. Dikalibrasikan secara langsung dalam $^\circ\text{Celsius}$ (Centigrade)
2. Faktor skala linear $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$
3. Menjamin ketelitian 0.5°C (pada $+25^\circ\text{C}$)
4. Range $-55^\circ - 150^\circ\text{C}$ untuk tipe LM35D $0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$
5. Biaya rendah dalam kaitan dengan wafer-level trimming
6. Beroperasi dari 4 sampai 30 volt
7. Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
8. Self-heating rendah, 0.08°C in still air

Ini mungkin bahwa temperatur udara sekitar hampir sama dengan temperatur permukaan, jika temperatur udara lebih besar atau lebih rendah daripada temperatur permukaan, temperatur sebenarnya dari LM35 mati pada suatu intermedia temperatur antara temperatur permukaan dan temperatur udara.

2.2 Pengendali PID (Proporsional Integral Differensial)

Sistem pengendalian merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengendalikan suatu system yang lain. Sistem pengendali di gunakan agar kinerja suatu system kendali menjadi lebih baik dan tepat. Secara umum sistem pengendalian terbagi atas dua jenis yaitu Open Loop Control Sistem dan Closed Loop Control Sistem.

PID (P-Proportional, I-Integral, D-Derivative) mendeskripsikan tiga bentuk dasar fungsi matematika yang bekerja secara bersama-sama yang diaplikasikan pada signal error, $V_{\text{error}} = V_{\text{set}} - V_{\text{sensor}}$. Error ini menghadirkan perbedaan antara “kemana kamu akan pergi (V_{set}) dan dimana biasanya kamu berada (V_{sensor})”. Kontroller melaksanakan fungsi matematika PID pada error dan aplikasi mereka penjumlahan pada proses (heater, motor, dll). Sangat sederhana tetapi sangat kuat. Jika di stel dengan tepat, signal V_{sensor} akan bergerak semakin dekat ke V_{set} .

Penyetelan suatu system dimaksudkan menyesuaikan tiga pengali K_p , T_i dan T_d menambahkan berbagai jumlah dari fungsi ini untuk menjalankan apa yang kita inginkan. Tabel dibawah merangkum istilah PID dan efek masing-masing pada suatu system kontrol.

Tabel. 1. Efek masing-masing PID pada sistem control

Bentuk	Fungsi Matematika	Efek pada system control
P (Proportional)	$K_p \times V_{error}$	Pengendalian utama pada loop control, KP mengurangi bagian besar dari keseluruhan kesalahan.
I (Integral)	$T_i \times \int V_{error} dt$	Mengurangi final error pada system. Menjumlahkan bahkan Kesalahan yang kecil dari waktu ke waktu menghasilkan suatu pengendali signal besar cukup untuk bergerak ke arah kesalahan system yang lebih kecil.
D (Derivative)	$T_d \times d V_{error} / dt$	Menetralkan KP dan KI ketika output berubah dengan cepat. Ini membantu mengurangi overshoot dan ringing. Ini tidak memiliki efek pada final error.

Penyetelan controller PID:

1. SET Kp. Mulai dengan $K_p = 0$ dan $K_D = 0$, tambah K_p sampai output mulai overshooting dan ringing signifikan.
2. SET Td. Tambah T_d sampai overshoot adalah dikurangi menjadi suatu level yang bias diterima.
3. SET Ti. Tambah T_i sampai final error = 0.

Pada system pengendali di kenal beberapa istilah antara lain :

1. SP (Set Point)
Set Point adalah harga atau nilai dari keadaan yang ingin di capai pada proses
2. Error
Error adalah selisih antara Set Point dan Process Variable
3. MV (Manipulated Variable)
Manipulated Variable adalah harga atau nilai yang diatur agar proses manjadi stabil dan biasanya di gabungkan dengan input actuator (contohnya : control valve)
4. PV (Process Variable)
Process variable adalah sinyal hasil pemantauan terhadap proses atau plant.
Process Variable umumnya adalah hasil pembacaan dari suatu sensor (contohnya : thermocouple)
5. Plant
Plant adalah objek yang akan di kendalikan (contohnya : temperature)

2.2.1 System pada PID

Pada penggunaan PID terdapat dua pengendali yang masing-masing mempunyai cara kerja yang berbeda yaitu:

2.2.1.1 Open Loop Control System

Open Loop Control System atau system pengendali loop terbuka merupakan system pengendali dimana objek yang di control tidak di feed back ke pengendali sehingga pengendali hanya memberikan output jika di berikan suatu sinyal input. Pengendali jenis ini masih bersifat manual karena tidak akan terlepas dari intervensi atau campur tangan manusia. Pengendali ini tidak akan bekerja secara otomatis, karena adanya intervensi manusia dan hasil dari suatu proses yang di kendalikan tidak di bandingkan oleh pengendali itu sendiri.

2.2.1.2 Closed Loop Control System

Closed Loop Control System atau system pengendali loop tertutup yaitu system pengendali dimana objek yang di control di feed back ke input pengendali. Input yang di berikan ke pengendali merupakan selisih antara besaran (PV) dan besaran (SP). Nilai selisih ini sering di sebut juga dengan Error. Tujuan dari pengendali adalah membuat nilai Process Variable (PV) sama dengan nilai Set Point (SP) atau nilai Error 0. Sinyal Error akan di olah oleh pengendali agar nilai (PV) sama dengan nilai (SP). Pengendali jenis ini bersifat otomatis karena objek yang akan di kendalikan di bandingkan lagi dengan input keadaan yang diinginkan, sehingga intervensi manusia dapat di hilangkan. Kinerja dari suatu pengendali ditentukan oleh semakin cepatnya

respon pengendali untuk mengubah MV terhadap perubahan sinyal error, dan semakin kecilnya kesalahan yang terjadi.

Pengendali P.I.D terdiri dari tiga macam pengendali yaitu pengendali Proportional (P), pengendali Intergral (I), dan pengendali Differensial (D). Masing-masing pengendali ini saling di kombinasikan sehingga didapatkan bentuk atau struktur dari P.I.D yaitu struktur paralel atau struktur mix.

2.2.2 Pengendali pada PID

Pengendali PID terdiri tiga macam yaitu Proportional (P), Integral (I) dan Differensial (D) yang dimana untuk masing-masing pengendali ini mempunyai cara kerja yang berbeda pula.

2.2.2.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendalian proportional berfungsi untuk mengalikan sinyal input dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.



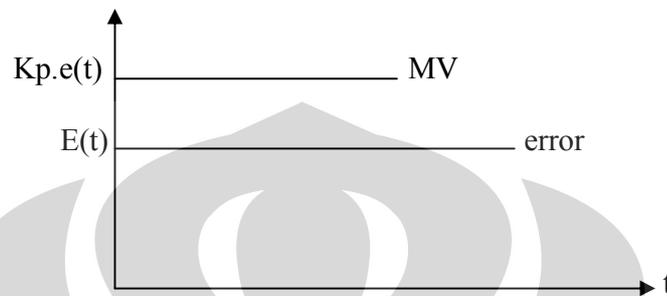
Gambar 2.1 Diagram Pengendalian Proportional

Persamaan hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendalian ini adalah :

$$\text{Output} = K_p \cdot \text{Input}$$

$$\text{MV} = K_p \cdot e(t) \dots\dots\dots (1)$$

Karena pengendali proportional hanya menguatkan sinyal input saja maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan seperti gambar 2.2 berikut ini:

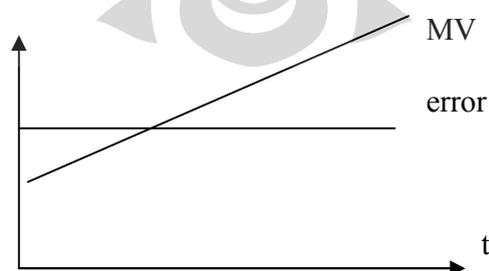


Gambar 2.2 Grafik respon Pengendali Proportional

2.2.2.2 Pengendali Intergral (I)

Pengendali Integral berfungsi untuk mengintegrasikan sinyal input lalu di bagi dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

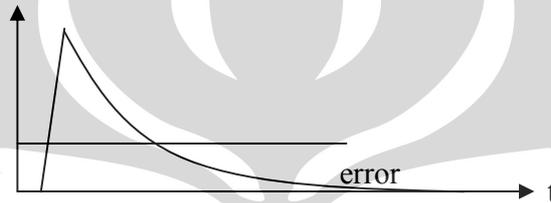
Persamaan hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendali ini dikarenakan pengendali integral hanya mengintegrasikan sinyal input saja maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan pada gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Grafik Respon Pengendalian Integral

2.2.2.3 Pengendali Differensial (D)

Pengendalian differensial berfungsi untuk mengdeferensialkan sinyal input lalu dikalikan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu. Karena pengendalian differensial hanya mengdifferensialkan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan pada gambar 2.4 berikut ini:

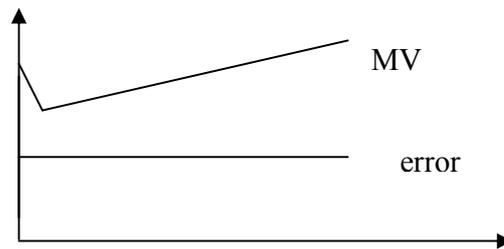


Gambar 2.4 Grafik Respon Pengendali Differensial

2.2.2.4 Pengendalian P.I.D Struktur Paralel

Pengendali P.I.D dengan struktur paralel merupakan sebuah pengendali yang terdiri dari kombinasi pengendali proporsional, pengendali differensial dan pengendali integral yang disusun paralel. Masing-masing input dari pengendali proporsional, pengendali differensial dan pengendali integral dihubungkan ke satu titik dan di hubungkan ke sinyal error.

Karena output pengendali P.I.D struktur paralel merupakan jumlah dari sinyal output pengendali proporsional, pengendali differensial dan pengendali integral, maka sinyal MV dapat digambarkan seperti grafik pada gambar 2.5 berikut ini:

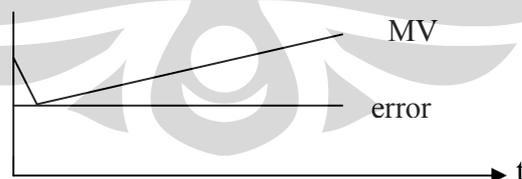


Gambar 2.5 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Paralel

2.2.2.5 Pengendalian P.I.D Struktur Seri

Pengendali P.I.D dengan struktur seri merupakan sebuah pengendali yang terdiri dari kombinasi pengendali proportional, pengendali differensial dan pengendali integral yang disusun seri. Input pengendali proportional dihubungkan dengan sinyal error. Input pengendali integral dihubungkan dengan output dari pengendali proportional. Dan input pengendali differensial dihubungkan dengan output dari pengendali integral.

Karena output pengendali P.I.D struktur seri merupakan jumlah dari inyal output pengendali proportional, pengendali differensial, dan pengendali integral maka MV dapat di gambarkan seperti grafik respon berikut ini :

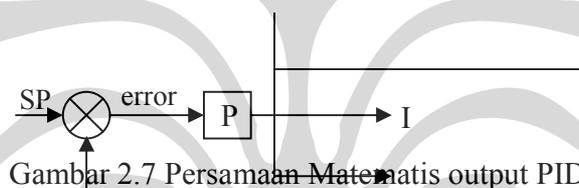


Gambar 2.6 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Seri

2.2.2.6 Pengendalian P.I.D Struktur Mix

Pengendali P.I.D dengan struktur mix merupakan sebuah pengendali yang terdiri dari kombinasi pengendali proporsional, pengendali differensial, dan pengendali integral yang disusun secara seri dan parallel. Input pengendali proporsional disusun secara seri dengan sinyal error, sedangkan pengendali differensial dan pengendali integral disusun secara parallel dan kedua inputnya dihubungkan ke satu titik dan dihubungkan ke output pengendali proporsional.

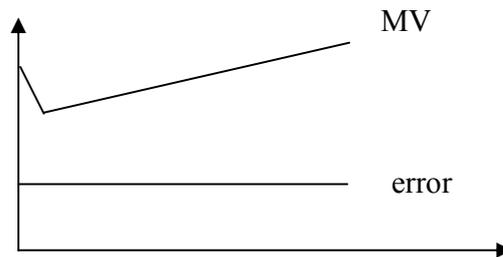
Bentuk pengendali P.I.D struktur mix dapat di gambarkan pada gambar 2.7 berikut ini:



Gambar 2.7 Persamaan Matematis output PID

Dari blok gambar diatas maka dapat diketahui bentuk persamaan matematis untuk output pengendali P.I.D.

Karena output pengendali P.I.D struktur mix merupakan jumlah dari sinyal output pengendali proporsional, pengendali differensial, dan pengendali integral, maka sinyal MV dapat di gambarkan seperti grafik respon gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Mix

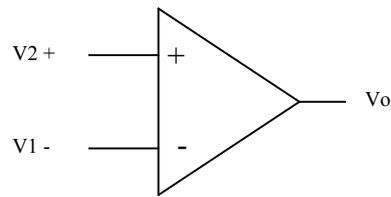
2.3 Operational Amplifier

Pada bab sebelumnya kita telah membahas secara umum rangkaian pasif yang dapat memberikan fungsi sebagai pengolah sinyal seperti rangkaian pembagi, dan rangkaian jembatan. Dulu sensor menggunakan rangkaian jembatan sebagai pengolah sinyalnya yang terdiri dari tube dan transistor. Kemudian dalam desainnya di butuhkan perubahan impedansi, penguatan dan operasi lainnya dalam satu buah komponen.

Kemudian setelah berkembangnya teknologi elektronika maka rangkaian tersebut di satukan dalam satu komponen yang disebut *integrated circuit* (IC).

Secara umum penggunaan IC mensyaratkan pengelompokan sesuai dengan spesifikasi sebelum digunakan. Salah satu bagian dari spesifikasi tersebut adalah tipe penguat (*amplifier*) yang dalam penggunaannya dipakai dalam blok pengondisian sinyal. Komponen ini di sebut *operational amplifier* (op amp).

Simbol yang umum dapat kita lihat di di gambar 2.9, dengan input noninverting (+), inverting (-) dan output.



Gambar 2.9 Op-amp

2.3.1 Ideal Op-amp

Bila $V_1 > V_2$ maka V_o saturasi positif dan bila kebalikannya maka V_o saturasi negatif. Impedansi antara input adalah tak terhingga, dan memiliki impedansi output yang nol. Namun dalam penggunaannya di gunakan rangkaian feedback.

2.3.2 Ideal Inverting Amplifier

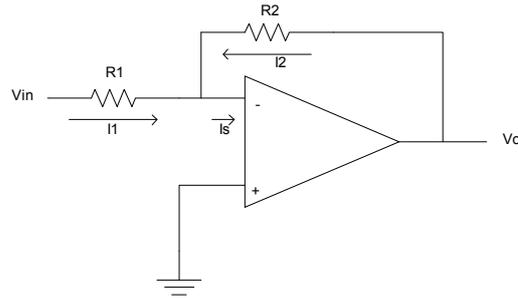
Untuk melihat bgm opamp bekerja maka kita lihat gambar di bawah ini. Resistor R_2 digunakan sebagai feedback dari output ke input inverting dan R_1 di hubungkan dengan tegangan input. Maka yang terjadi adalah tidak ada arus yang mengalir melalui opamp karena di asumsikan opamp memiliki impedansi yang tak terhingga.

Maka :

$$I_1 + I_2 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Karena titik penjumlahan adalah nol maka :

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 2.10 Ideal Inverting Amplifier

Maka dari persamaan di atas maka bias di dapatkan persamaan (4) di bawah ini :

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \dots\dots\dots (4)$$

2.3.3 Non Ideal Op-amp

Bila analisis opamp adalah non ideal maka harus di perhatikan sbb:

1. Input Impedansi yang berhingga
2. Impedansi Output yang tidak nol
3. Penguatan open loop yang berhingga

Maka dalam mendisain opamp perlu di perhatikan hal hal tersebut maka persamaan pun akan berubah

$$I_1 + I_2 + I_s = 0 \dots\dots\dots (5)$$

2.3.4 Spesifikasi Op -amp

Karakteristik op-amp adalah:

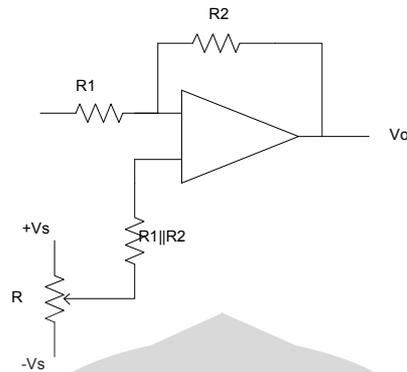
1. *Input Offset Voltage* Dalam beberapa kasus output opamp tidak nol ketika tegangan input nol

2. *Input Offset Current* Tegangan input diperlukan untuk mengeliminasi tegangan input
3. *Input Bias Current* Ini adalah nilai rata² dari dua arus input untuk menghasilkan tegangan output menjadi nol.
4. *Slew Rate* Jika tegangan secara tiba-tiba diberikan pada input opamp, Output akan saturasi ke nilai maksimum. Untuk input step slew rate adalah laju dimana output berubah menjadi harga saturasi ($V/\mu s$).

2.3.5 Aplikasi Op-amp

Secara umum opamp membutuhkan bipolar power supply, $+V_s$ dan $-V$, yang memiliki harga yang sama, biasanya harganya bervariasi dengan range 9V sampai 15V. Untuk kompensasi input offset current dengan cara memberi harga resistansi pada kedua inputnya adalah sama. Kompensasi untuk input offset voltage ada dua cara:

1. Pada IC yg menyediakan terminal untuk mengatur offset kompensasi kita taruh resistor variable yang di hubungkan ke tegangan input baik $+V$ atau $-V$. kemudian di atur.
2. Pada IC yang tidak menyediakan terminal tersebut maka dapat di atur dengan cara di seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11 Offset Op-amp

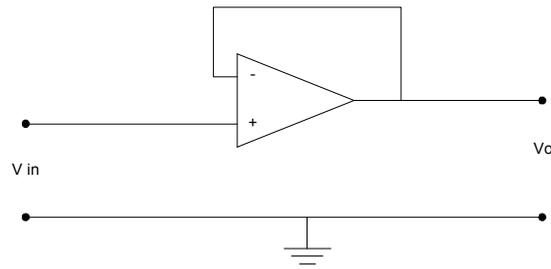
Salah satu aplikasi yang penting adalah opamp kemampuan mengatur arus, namun tidak boleh lebih dari 20 mA. Sehingga dalam mendisain sebuah op-amp diharuskan menggunakan hambatan dengan orde $K\Omega$.

2.3.6 Rangkaian Op-amp Dalam Instrumentasi

Dibawah ini adalah beberapa rangkaian yang banyak di gunakan untuk pengolahan sinyal instrumentasi.

2.3.6.1. Voltage Follower

Gambar di bawah adalah sebuah rangkaian op amp dengan penguatan satu dan impedansi input yang sangat besar yang lebih besar dari $100M\Omega$. Output impedansi dari rangkaian ini adalah lebih kecil dari 100Ω . Guna dari rangkaian ini adalah menyediakan rangkaian yang mempunyai impedansi masukan yang besar dan penguatan satu untuk mengatasi efek pembebanan.



Gambar 2.12 Voltage Follower

2.3.6.2. Inverting Amplifier

Rangkaian ini telah kita bahas sebelumnya dan mempunyai persamaan:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \dots\dots\dots(6)$$

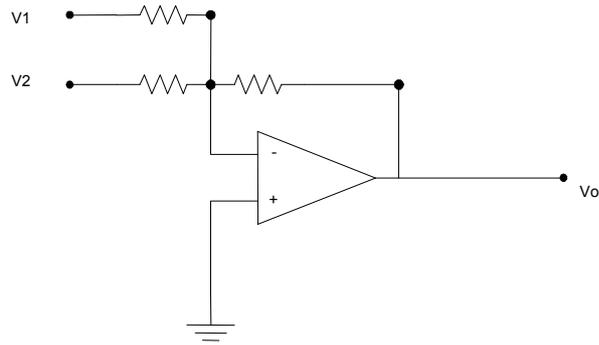
Maka terlihat bahwa rangkaian ini menginvertkan tegangan masukan. Dan memiliki penguatan tergantung pada perbandingan R_1 dan R_2 . Namun yang perlu diingat bahwa impedansi rangkaian ini adalah sama dengan R_1 hingga impedansi rangkaian ini tidak begitu besar.

2.3.6.3. Summing Amplifier

Modifikasi yang paling umum dari inverting amplifier adalah penguat yang dapat menambahkan dua atau lebih tegangan. Rangkaian di bawah ini menunjukkan penjumlahan untuk dua tegangan input

Fungsi transfernya adalah :

$$V_{out} = -\left[\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_2}{R_3} V_2\right] \dots\dots\dots(7)$$

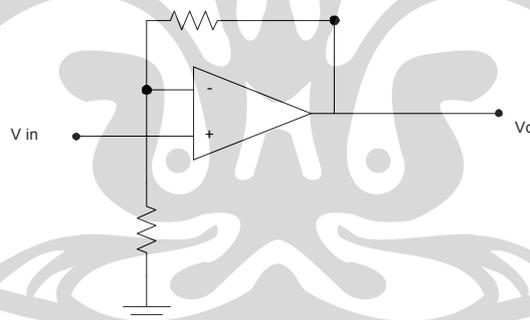


Gambar 2.13 Summing Amplifier

2.3.6.4. Non Inverting Amplifier

Rangkaian untuk non inverting dapat di bentuk seperti gambar di bawah ini.

$$V_{out} = \left[1 + \frac{R_2}{R_1}\right] V_{in} \quad (8)$$



Gambar 2.14 Non Inverting Amplifier

2.3.6.5. Differential Instrumentation Amplifier

Banyak system pengukuran dan kontrol yang perbedaan antara dua tegangan perlu di kondisikan. Salah satu contohnya adalah output dari jembatan Wheatstone dimana tegangan yang dihasilkan adalah $\Delta V = V_a - V_b$

Sebuah diferensial amplifier ideal akan menghasilkan tegangan keluaran dengan persamaan :

$$V_{out} = A (V_a - V_b) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana A adalah penguatan diferensial dan V_a dan V_b adalah tegangan masukan.

2.3.6.6 Common Mode Rejection

Perlu diingat bahwa tegangan keluaran seperti yang diperlihatkan persamaan di atas tidak tergantung dari polaritas dari kedua tegangan keluaran, tetapi tergantung dari perbedaannya.

Untuk mendefinisikan tingkat dimana diferensial amplifier mencapai ideal kita menggunakan definisi ini: Common mode input adalah rata rata dari tegangan input yang dimasukkan pada kedua terminal input.

$$V_{cm} = \frac{V_a + V_b}{2} \dots\dots\dots (10)$$

Sebuah diferensial amplifier yang idel tidak akan mempunyai harga output yang tergantung dari harga tegangan common mode ini. Hingga A_{cm} akan sama dengan nol.

2.3.6.7. CMRR (Common Mode Ratio Rejection)

Dari sebuah differential amplifier adalah perbandingan antara penguatan differential dengan common mode. CMR adalah CMMR yang di tunjukan dalam dB.

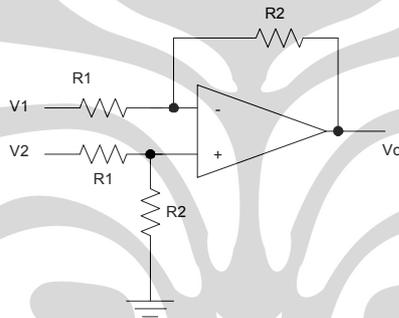
$$CMRR = \frac{A}{A_{CM}} \dots\dots\dots (11)$$

$$CMRR = 20 \log_{10} (CMRR) \dots \dots \dots (12)$$

Maka semakin besar harga CMMR atau CMR maka semakin baik differential amplifier tersebut.

2.3.6.8. Differential Amplifier

Terdapat banyak macam rangkaian differential amplifier yang paling umum rangkaiannya seperti gambar 2.15 di bawah ini:



Gambar 2.15 Differential Amplifier

Rangkaian ini menggunakan dua pasang resistor yaitu R_1 dan R_2 .

Bila pasangan pasangan resistansi tersebut sama maka fungsi transfer adalah sebagai berikut:

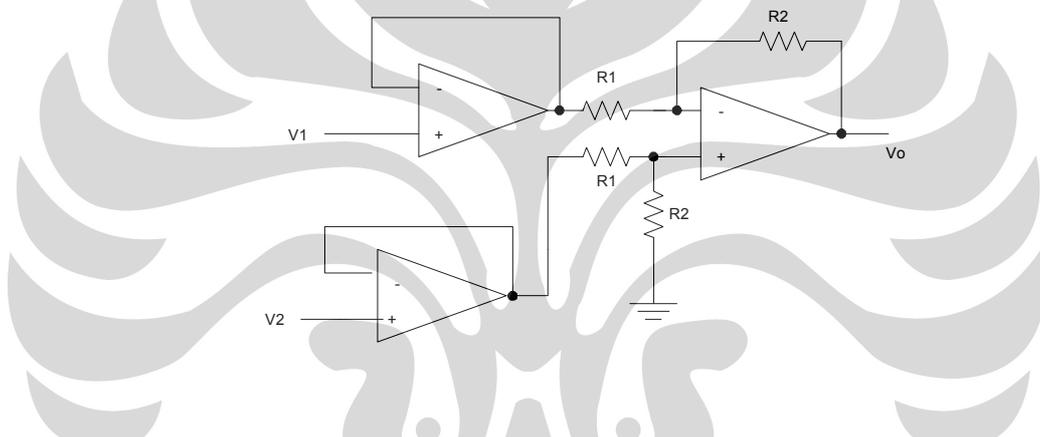
$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2} (V_2 \times V_1) \dots \dots \dots (13)$$

Jika tidak sama maka harga CMRR akan jelek. Rangkaian di atas memiliki kelemahan yaitu impedansi input yang kecil dan tidak sama untuk kedua input

maka untuk mengatasinya di pakai voltage followes pada kedua inputnya. Rangkaian ini di sebut rangkaian “*instrumentation amplifier*”.

2.3.2.9 Instrumentation Amplifier

Diferential amplifier dengan input impedansi yang besar dan output impedansi yang kecil di beri nama Instrumentation amplifier. Biasanya digunakan untuk penguatan rangkaian jembatan seperti gambar 2.16 dibawah ini:

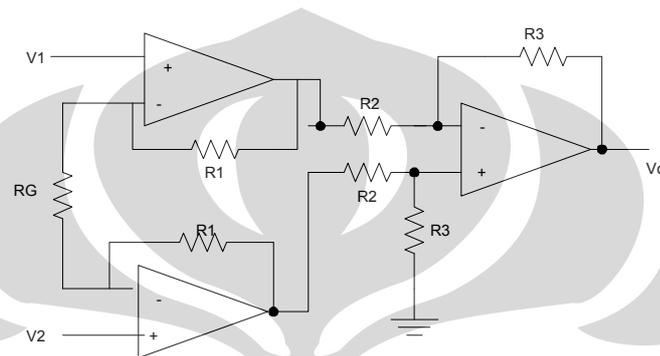


Gambar 2.16 Instruentasi Amplifier Voltage Follower

Gambar diatas adalah salah satu tipe dari instrumentation amplifier. Voltage follower ditempatkan pada kedua input line. Fungsi transfernya adalah sama dengan diferential amplifier. Salah satu kelemahannya adalah bila akan mengubah penguatan maka harus mengubah dua resistor yang masing² harus sama resistansinya.

Kompensasi input offset dapat menggunakan diferensiator amplifier.

Namun sekarang sudah terdapat instrumentation amplifier dalam satu IC, Karena penggunaannya sudah umum. Dalam beberapa kasus penguatan di berikan dengan harga tetap dan yang lain sesuai dengan keinginan pengguna dengan mengubah harga resitornya.



Gambar 2.17 Kompensasi input offset

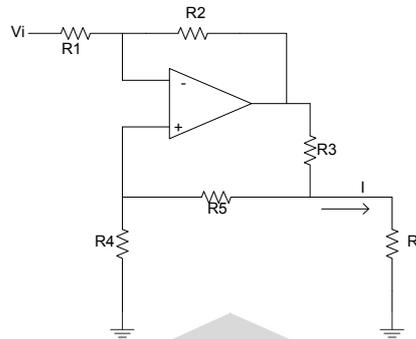
Rangkaian ini dapat mengubah penguatan dengan merubah sebuah resistor yaitu R_G . Dan tidak tergantung pada keharusan harga resistor R_1 yang sama. Fungsi transfernya adalah sbb:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \left(\frac{R_3}{R_2}\right) (V_2 - V_1) \dots\dots\dots (14)$$

Input impedansi sangat tinggi dan output impedansi yang rendah.

2.3.2.10 Konverter Tegangan ke Arus

Karena sinyal dalam proses kontrol kebanyakan berupa arus maka, kita perlu menggunakan konverter tegangan ke arus yang linear. Seperti rangkaian yang mampu menghasilkan arus ke beberapa beban yg berbeda tanpa merubah perubahan /transfer tegangan ke arus seperti gambar 2.18 berikut ini:



Gambar 2.18 Tegangan ke Arus

Gambar di atas adalah contoh bagaimana sebuah rangkaian dengan menggunakan opamp di rubah menjadi konverter tegangan ke arus.

Hubungan arus dan tegangan adalah sbb:

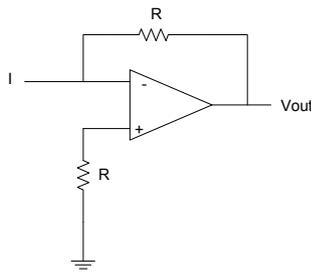
$$I = -\frac{R_2}{R_1 + R_3} V_{in} \quad (15)$$

Dan memilih resistansi harus sesuai dengan:

$$R_1(R_3 + R_5) = R_2 R_4 \quad (16)$$

2.3.2.11 Konverter Arus ke Tegangan

Pada akhir dari proses kontrol, kita kadang perlu mengkonversikan kembali arus ke tegangan. Hal ini dapat di dapat dengan mudah dengan menggunakan rangkaian pada gambar 2.19 berikut ini:



Gambar 2.19 Arus ke Tegangan

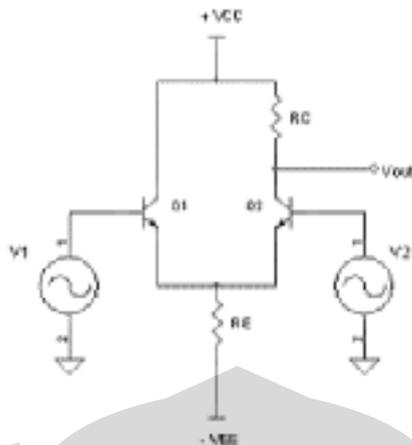
Dengan persamaan :

$$V_{\text{out}} = IR \dots\dots\dots (17)$$

Dengan syarat tegangan saturasi tidak tercapai. Resistor pada input noninverting untuk menjaga stabilitas karena temperatur.

2.3.2.12. Penguat differensial

Op-amp dinamakan juga dengan penguat diferensial (*differential amplifier*). Sesuai dengan istilah ini, op-amp adalah komponen IC yang memiliki 2 input tegangan dan 1 output tegangan, dimana tegangan output-nya adalah proporsional terhadap perbedaan tegangan antara kedua inputnya itu. Penguat diferensial seperti yang ditunjukkan pada gambar-1 merupakan rangkaian dasar dari sebuah op-amp.

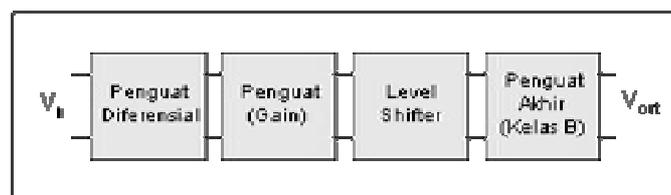


Gambar 2.20 Penguat Differensial

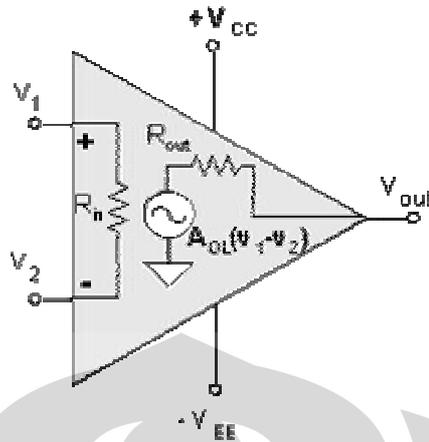
Pada rangkaian yang demikian, persamaan pada titik V_{out} adalah $V_{out} = A(v_1 - v_2)$ dengan A adalah nilai penguatan dari penguat diferensial ini. Titik input v_1 dikatakan sebagai input *non-inverting*, sebab tegangan v_{out} satu phase dengan v_1 . Sedangkan sebaliknya titik v_2 dikatakan input *inverting* sebab berlawanan phase dengan tegangan v_{out} .

2.3.7 Diagram Op-amp

Op-amp di dalamnya terdiri dari beberapa bagian, yang pertama adalah penguat diferensial, lalu ada tahap penguatan (*gain*), selanjutnya ada rangkaian penggeser level (*level shifter*) dan kemudian penguat akhir yang biasanya dibuat dengan penguat *push-pull* kelas B. Gambar-2(a) berikut menunjukkan diagram dari op-amp yang terdiri dari beberapa bagian tersebut.



Gambar 2.21 Diagram blok Op-amp



Gambar 2.22 Diagram schematic simbol Op-Amp

Simbol op-amp adalah seperti pada gambar-2(b) dengan 2 input, *non-inverting* (+) dan input *inverting* (-). Umumnya op-amp bekerja dengan *dual supply* (+ V_{cc} dan $-V_{ee}$) namun banyak juga op-amp dibuat dengan *single supply* ($V_{cc} - ground$). Simbol rangkaian di dalam op-amp pada gambar-2(b) adalah parameter umum dari sebuah op-amp. R_{in} adalah resistansi input yang nilai idealnya infinit (tak terhingga). R_{out} adalah resistansi output dan besar resistansi idealnya 0 (nol). Sedangkan A_{OL} adalah nilai penguatan open loop dan nilai idealnya tak terhingga.

2.4 Heater dan Blower

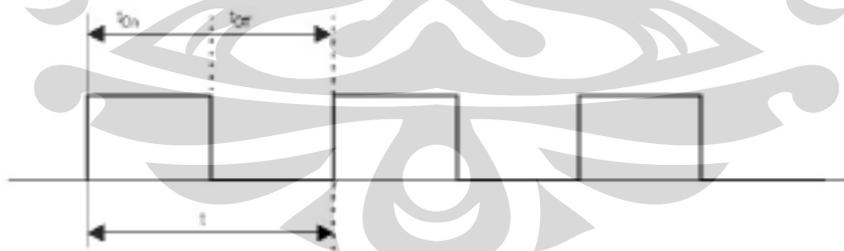
Pada rangkaian ini saya menggunakan resistor dengan nilai $12\Omega/15W$ sebagai heater (sumber panas). Jika pada resistor diberikan tegangan maka resistor akan memanas sehingga resistor tersebut dapat digunakan sebagai heater (pemanas). Dan pada rangkaian ini dipakai blower sebagai cooler (pendingin), yang dimana blower dengan ukuran

1.5”x1.5” digunakan pada pendingin pada rangkaian ini. Heater bekerja sesuai dari keluran sinyal PWM pada rangkaian plant.

2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

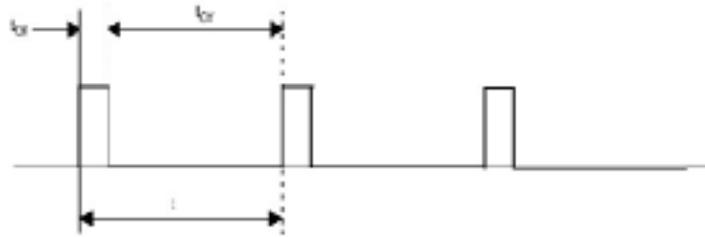
PWM adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengontrol kerja dari suatu alat atau menghasilkan suatu tegangan DC yang variabel. Rangkaian PWM adalah rangkaian yang lebar pulsa tegangan keluarannya dapat diatur atau dimodulasi oleh sebuah sinyal tegangan modulasi. Disamping itu kita dapat menghasilkan suatu sinyal PWM dengan menentukan frekuensi dan waktu dari variabel ON dan OFF. Pemodulasian sinyal yang beragam dapat menghasilkan duty cycle yang diinginkan. Gambar 2.4 memperlihatkan sinyal kotak dengan duty cycle 50%. Duty cycle adalah rasio dari waktu ON (t_{on}) terhadap periode total dari sinyal ($t = t_{on} + t_{off}$). Dengan persamaan (18) :

$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \dots\dots\dots(18)$$



Gambar 2.23 Sinyal PWM dengan duty cycle 50%

Dengan duty cycle yang bermacam-macam, rata-rata output dari tegangan dc dapat dikontrol. Seperti pada gambar 2.5 memperlihatkan sinyal kotak dengan duty cycle 10%.



Gambar 2.24 Sinyal PWM dengan duty cycle 10%



BAB 3

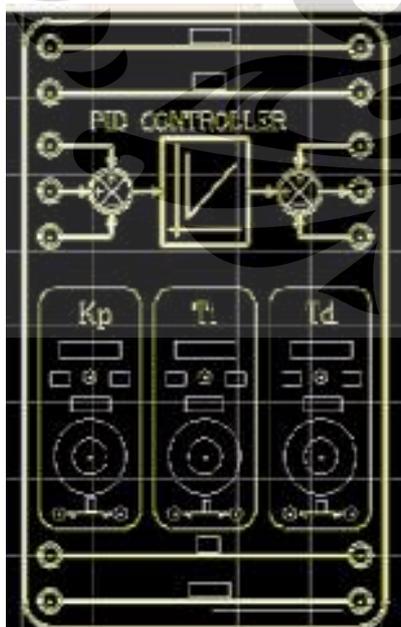
PERANCANGAN DAN CARA KERJA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa cara perancangan mekanika alat dan cara kerja dari mulai rangkaian elektronika.

3.1 Perancangan

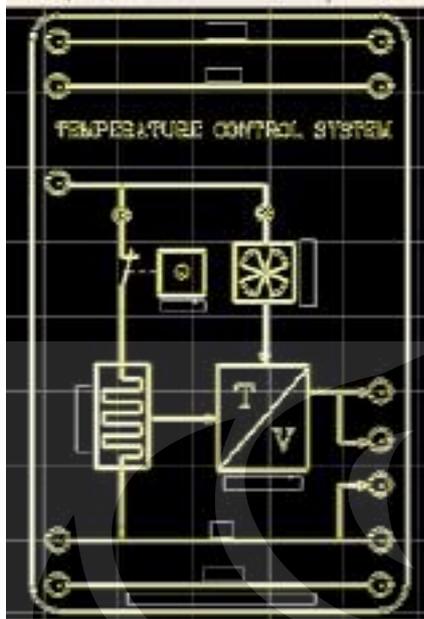
Perancangan alat ini dirancang dan dirangkai sedemikian rupa dengan menggunakan plant yang dimana berfungsi sebagai tampak depan serta petunjuk untuk melakukan percobaan terhadap alat tersebut. Pada alat ini digunakan plant yang terbuat dari akrilik yang berukuran 5mm sehingga plant rangkaian dapat disatukan dengan kuat dan baik. Plant rangkaian akan dibentuk sesuai plant akrilik sehingga dapat memudahkan kita untuk merangkai secara keseluruhan.

Berikut merupakan plant yang dibuat untuk masing-masing rangkaian:



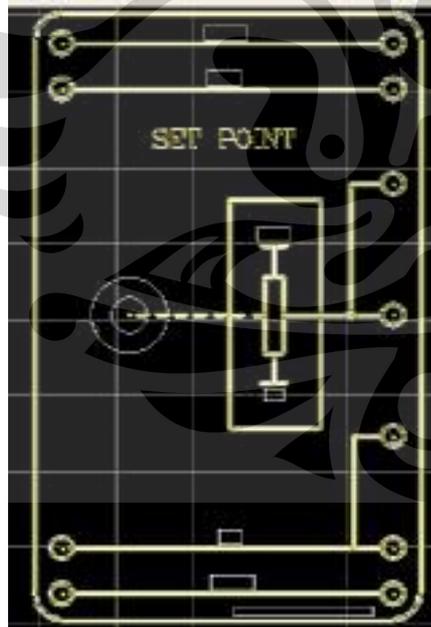
Gambar 3.1 Plant rangkaian PID controller

Gambar disamping merupakan bentuk plant dari rangkaian PID yang dimana terdapat beberapa slot jack yang mempunyai fungsi masing-masing. Pada intinya pada plant terdapat 3 buah potensiometer yang berguna sebagai pengatur besar kecilnya tegangan yang diinginkan.



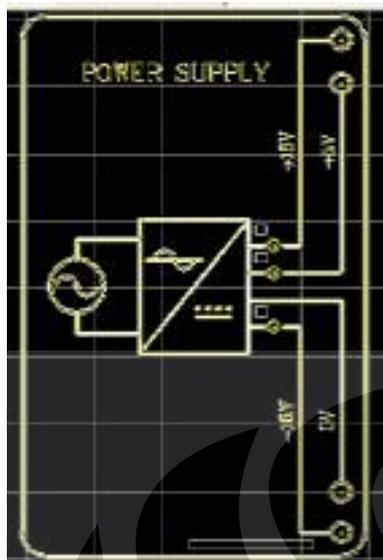
Gambar 3.2 Plant rangkaian system pengatur suhu (temperatur)

Gambar disamping merupakan bentuk plant dari rangkaian system control suhu yang dimana terdapat heater dan blower yang dimana terdapat led indicator untuk masing-masing system. Dan terdapat jack sebagai output dari hasil cara kerja rangkaian.



Gambar 3.3 Plant rangkaian set point

Gambar disamping merupakan bentuk plant dai rangkaian set point yang berguna untuk memberikan point dasar mulai dari 0volt-10volt. Di plant akan terdapat 1 potensiometer yang berfungsi sebagai pengatur yntuk tegangan 0volt-10volt.

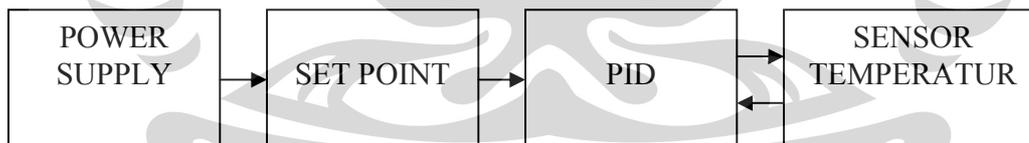


Gambar 3.4 Plant rangkaian power supply

Gambar disamping merupakan plant dari rangkaian power supply. Pada rangkaian ini dibuat power supply untuk tegangan +/- 15volt dan 5volt untuk rangkaian rangkaian lainnya. Untuk masing-masing tegangan terdapat led indicator.

3.2 Cara Kerja

Dalam system ini dijelaskan tentang Power Supply, Set Point, PID, dan Sistem Perpindahan yang digunakan pada Sensor Posisi menggunakan PID analog ini.

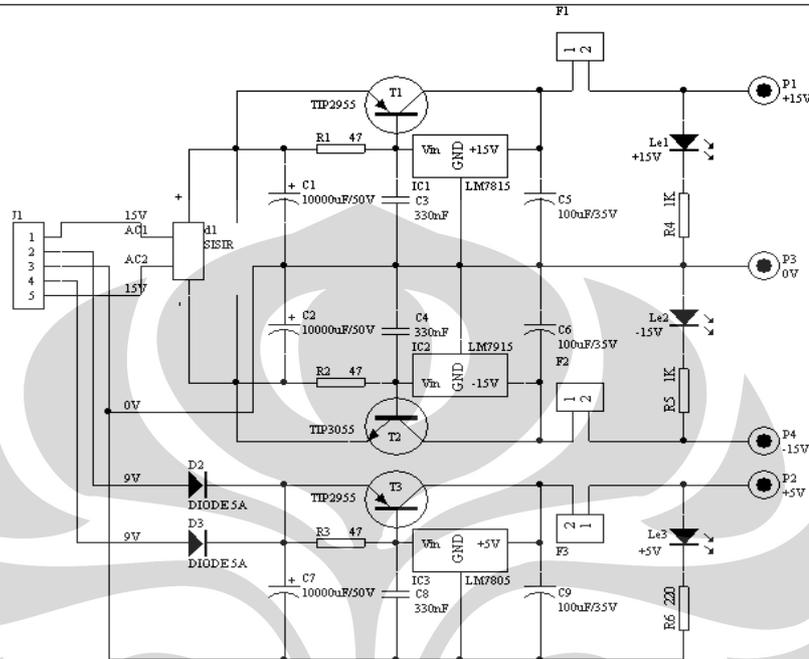


Gambar 3.5 Susunan sistem pembuatan rangkaian

3.2.1 Power supply

Untuk rangkaian ini di berikan power supply yang berfungsi sebagai sumber tegangan untuk semua bagian dimana tegangan yang digunakan adalah +/- 15volt dan

+5volt kecuali pada sumber tegangan sensor dan blower yang mempunyai sumber tegangan sendiri karena menggunakan + 12 volt dan -12 volt.

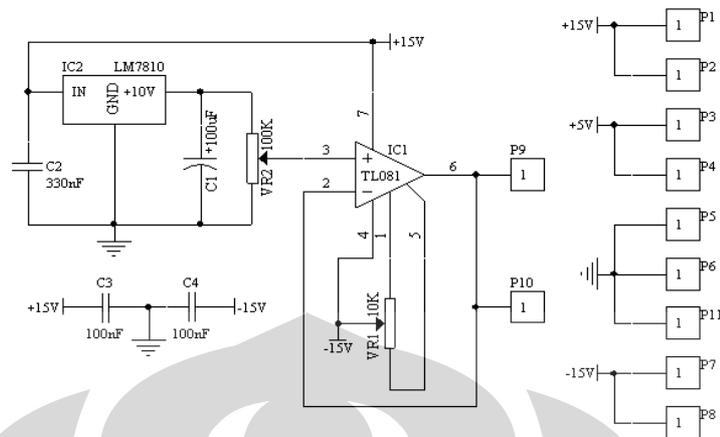


Gambar 3.6 Skematik rangkaian Power Supply

Pada rangkaian dibutuhkan IC LM7815/7915 untuk tegangan +/- 15volt dan IC LM7805 untuk tegangan +5volt. Dan pada rangkaian diberikan led untuk masing-masing tegangan output sebagai indikatornya.

3.2.2 Set Point

Set point berfungsi sebagai pengatur tegangan karena tegangan yang berikan oleh Power Supply adalah sebesar 15 volt, sedangkan yang digunakan dari variable 0 volt sampai dengan 10 volt dan juga untuk mendapatkan variasi data pengamatan. Dan rangkaian ini dapat bekerja dengan baik.

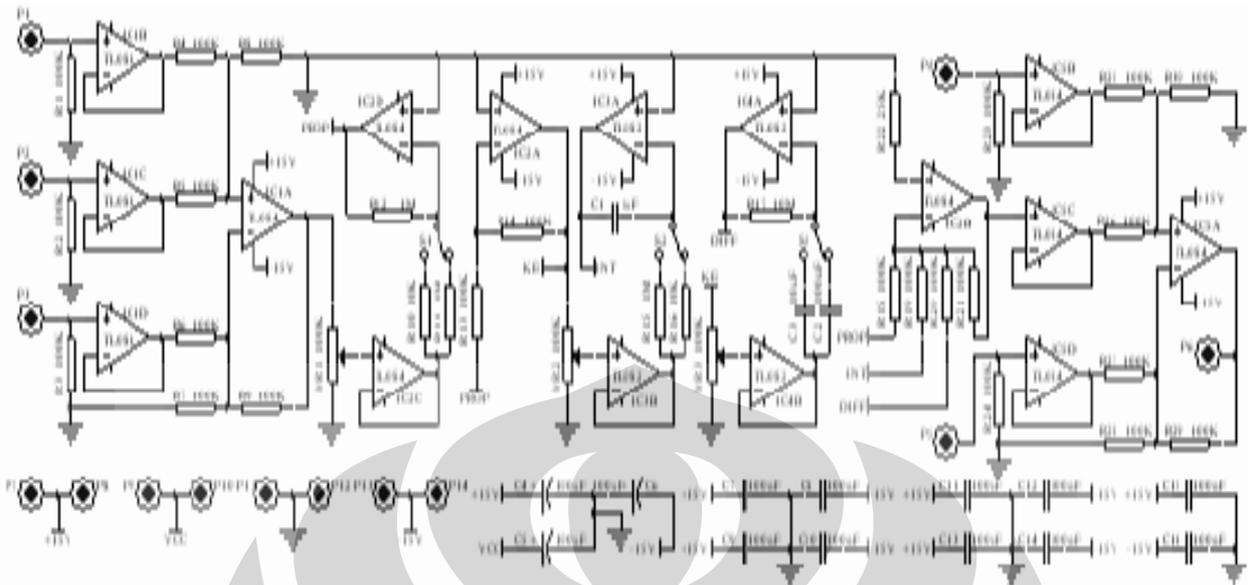


Gambar 3.7 Skematik rangkaian Set Point

3.2.3 PID (Proporsional Integral Differensial)

PID (Proporsional Integral Differensial) mendeskripsikan tiga bentuk dasar fungsi matematika yang bekerja secara bersama-sama yang diaplikasikan pada signal error, $V_{error} = V_{set} - V_{sensor}$.

Error ini menghadirkan perbedaan antara (V_{set}) dan (V_{sensor}). Kontroller melaksanakan fungsi matematika PID pada error dan aplikasi mereka penjumlahan pada proses (heater, motor, dll). Sangat sederhana tetapi sangat kuat. Jika di stel dengan tepat, signal V_{sensor} akan bergerak semakin dekat ke V_{set} . Rangkaian PID ini memiliki 3 fungsi op-amp yaitu rangkaian buffer, sinyal segitiga dan non inverting amplifier. Dan rangkaian ini dapat bekerja dengan baik.



Gambar 3.8 Skematik rangkaian PID

3.2.4 Temperatur kontrol Sistem

Pada rangkaian pengontrol ini terdapat rangkaian penguat op-amp untuk menguatkan fungsi sensor LM35 dan menggunakan optocoupler IC4N28. Heater pada rangkaian menggunakan resistor $12\Omega/15W$ dan fan dengan tegangan supply 12volt sebagai blower. Dan relay sbagai saklar antara fungsi heater dan blower. Dan menggunakan led sebagai indicator untuk heater. Heater akan bekerja ketika sinyal rangkaian PWM pada rangkaian bekerja yang dimana rangkaian PWM pada rangkaian plant bekerja untuk memanaskan heater (resistor). Dan ketika panas pada sensor melebihi panas dari yang diinginkan oleh set point maka resistor akan berhenti bekerja sehingga panas akan berkurang dan dibantu dengan bekerjanya blower yang dimana relay bekerja sebagai saklar untuk cara kerja heater dan blower. Dan plant ini dapat bekerja dengan baik.

BAB 4

PENGUJIAN ALAT DAN DATA ANALISA

Pada bab ini akan disajikan mengenai hasil dari pengujian alat, mulai dari cara pengambilan data percobaan dan penganalisaan terhadap hasil data yang diperoleh. dan akan dibahas tentang pengujian dan analisa. pengujian alat dilakukan untuk menyesuaikan system elektronik dengan system mekanik yang dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan percobaan yang berulang-ulang pada alat ini.

Rangkaian yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik menggunakan plant untuk masing-masing rangakain sehingga mempermudah cara pengujian alat. Sensor yang ditempel ke heater bekerja dengan baik sehingga pengambilan data dapat dilakukan dengan baik. Dengan resistor sebagai heater, blower sebagai cooler dan LM35 sebagai sensor maka alat ini dapat berfungsi dengan baik.

4.1 Pengambilan data percobaan

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian alat yang telah dibuat. Pada pengujian alat ini sensor dipasang tepat di heatsink yang dimana heatsink dihubungkan (tempel) dengan resistor $12\Omega/15W$ sebagai heater sehingga sensor dapat bekerja dan membaca besar suhu (panas) pada heatsink. Dibawah ini akan ditampilkan tabel hasil pengujian menggunakan sensor LM35.

Tabel. 2. Data hasil percobaan 1

SET POINT (Volt)	HASIL SENSOR (Volt)
3.155	3.158
4.140	4.150
5.050	5.060
6.480	6.490
7.680	7.700
8.410	8.16

Tabel. 3. Data hasil percobaan 2

SET POINT (Volt)	HASIL SENSOR (Volt)
2.98	3.00
3.78	3.80
4.58	4.59
5.12	5.14
6.30	6.32
7.70	7.71
8.35	8.36

4.2 Analisa data percobaan

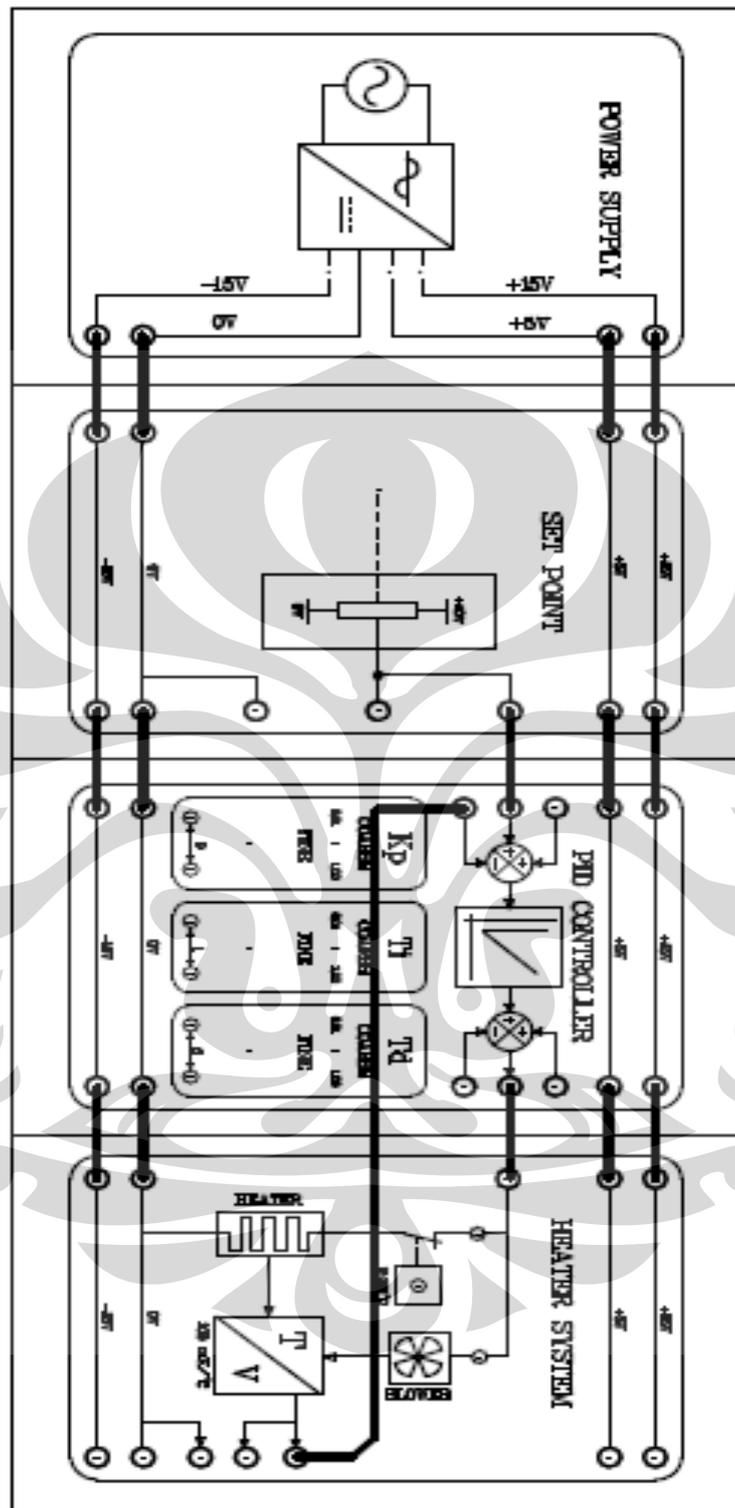
Dari hasil beberapa pengujian, didapatkan data-data sebagai perbandingan. Dari hasil pengujian sensor LM35, didapatkan data yang tidak terlalu sempurna hal tersebut di karenakan sensor yang kurang dekat (tempel) dengan heatsink. Karena peletakan sensor kurang dekat dengan heatsink. Hanya dalam membaca suhu, sensor ini agak lama dikarenakan heatsink yang terlalu tebal. Jika plat heatsink sedikit di tipisin maka suhu cepat panas dan proses pendeteksian sensor bias cepat tanpa menunggu waktu lama.

Pada hasil pengujian data yang didapat tidak terlalu sempurna karena pengaruh dari ketebalan heatsink. Dan pengujian data yang tidak terlalu sempurna dikarenakan pengaruh dari hasil tegangan output dari PID yang berosilasi maka tegangan output dari sensor/plant tidak konstan (berubah-ubah), sehingga kita harus dapat mengkalibrasikan nilai PID agar mendapatkan hasil tegangan output yang tidak terlalu berosilasi (berubah-ubah).

Pada percobaan jika suhu tinggi dan kita menginginkan suhu yang rendah maka heater (resistor) akan berhenti berkerja dan cooler (blower) mulai bekerja. Pada rangkaian kali ini terdapat kesalahan rangkaian sehingga heater dan blower hidup bersamaan tetapi dapat dibedakan ketika mengingini suhu panas maka heater bekerja penuh sedangkan cooler bekerja setengahnya dan begitu juga sebaliknya, sehingga kita dapat tetap mendapatkan hasil percobaan yang cukup efektif.

4.3 Simulasi rancangan rangkaian pengendalian temperatur menggunakan PID analog

Untuk mengetahui lebih jelas cara pengambilan data maka gambar 4.1 merupakan gambar simulasi dari pengendalian temperatur menggunakan PID analog. Dimana dari set point akan ada input variabel 0Volt-10Volt dengan ke input PID, dimana PID mempunyai konstanta proporsional, integral dan differensial yang kemudian output PID dihubungkan ke input plant / rangkaian sensor dimana pada output plant kembali diumpan bias ke PID untuk kembali dikendalikan oleh PID. Dan resistor $12\Omega/15W$ sebagai heater akan mendapatkan input dari sinyal segitiga pada rangkaian PWM. Dimana heater ditempel dengan heatsink dan sensor temperatur LM35 dirancang menempel pada heatsink jadi sensor tidak mendeteksi suhu langsung dari heater. Output sensor telah dikuatkan 10 kali oleh rangkaian instrumentation amplifier sehingga mendapatkan output $100mV/^{\circ}C$. Blower bekerja ketika dibutuhkan pendingin suhu sehingga suhu dapat dikendalikan dengan baik. Dan sebagai indikator untuk suhu normal, panas dan over masing-masing menggunakan led yang berbeda untuk memudahkan penganalisaan.



Gambar 4.1 Simulasi rancangan rangkaian pengendalian temperatur menggunakan PID analog.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang beberapa kesimpulan dan saran penulis dalam membuat tugas akhir ini.

5.1 Kesimpulan

Dari penulisan ini dapat ditarik kesimpulan:

- Tegangan output dari sensor/plant akan terus berubah (naik turun) dikarenakan hasil dari tegangan PID yang terus berosilasi.
- Ketebalan heatsink pada heater dapat memperlambat pembacaan suhu pada sensor LM35.

5.2 Saran

Dari percobaan yang telah dilakukan, alat ini masih jauh dari sempurna sehingga penulis memberi saran bagi yang ingin menyempurnakan alat ini.

- Melakukan pemilihan sensor suhu yang baik dan bermutu.
- Diusahakan untuk memberikan heatsink yang tidak terlalu tebal agar mempercepat pengujian.
- Jarak antara sensor dan heater dibikin sedekat mungkin agar mempermudah proses pengambilan data.
- Diperlukan pengkalibrasian PID yang tepat untuk mendapatkan hasil tegangan output yang efektif pada sensor/plant.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Malvino, Prinsip-prinsip Elektronika*, Erlangga, Jakarta 1995
2. *Tokheim L.Roger, Elektronika Digital*, Erlangga, Jakarta 1995
3. Nasional *semikonduktor.com*
4. *Datasheet.com*
5. *Wikipedia.org*



LAMPIRAN

December 1991

National Semiconductor

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in °Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 1/2^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 μA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -60 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in °Celsius (Centigrade)
- Linear ± 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteed (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 μA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, 0.1Ω for 1 mA load

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package¹

ORDER VIEW

TLN/3505-1

TO-92
Plastic Package

BOTTOM VIEW

TLN/3505-2

SO-8
Small Outline Molded Package

TOP VIEW

TLN/3511-2A

¹Case is connected to negative pin (GND).

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number M03H

Order Number LM35DM
See NS Package Number M03A

Typical Applications

TO-202
Plastic Package

Order Number LM35DP
See NS Package Number P03A

TLN/3516-2A

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)

TLN/3516-3

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

TLN/3516-4

Choose $R_1 = -V_{cc}/50 \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1.680 \text{ mV at } +100^\circ\text{C}$
 $= +360 \text{ mV at } +25^\circ\text{C}$
 $= -880 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

TLN/3516 is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

©1991 National Semiconductor Corporation TLN/3516 RPO-030475-Rev01 U.S.A.

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
Precision Centigrade Temperature Sensors

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+25V to -0.2V
Output Voltage	+5V to -1.5V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-42 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)

LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 8)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3			$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0	+9.9, +10.1		mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 9) @ $I_L < 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 2)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 8)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	87		56	87		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.3	+0.39		+0.3	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} < T_J < +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} < T_J < +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} < T_J < +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5V$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from -2°C to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $20^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline reflow package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is $65^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.