

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGENDALIAN POSISI MENGGUNAKAN PENGENDALI P.I.D ANALOG



oleh:

Erik Alviano

2302220292

**PROGRAM D3 INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA DAN INDUSTRI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA**

DEPOK

2007

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Erik Alviano
NPM : 2302220292
Judul : PENGENDALIAN POSISI MENGGUNAKAN PENGENDALI P.I.D
ANALOG
Pembimbing : Drs. Arief Sudarmadji, M.T

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"PENGENDALIAN POSISI MENGGUNAKAN PENGENDALI P.I.D ANALOG"** telah diperiksa dan disetujui sebagai bahan Tugas Akhir Diploma pada Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

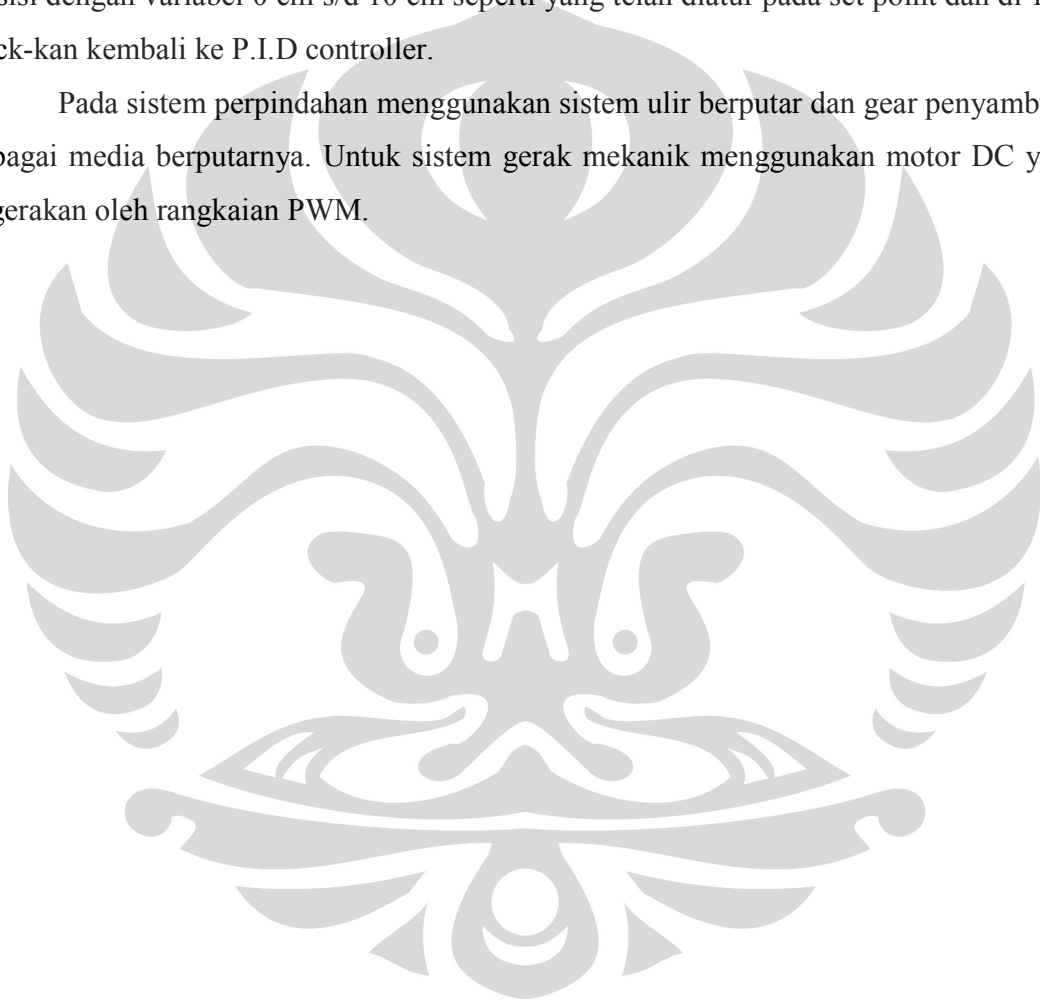
Pembimbing,

(Drs. Arief Sudarmaji, M.T)

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah pengendali posisi dengan menggunakan P.I.D analog. Alat ini akan bekerja ketika kita mengatur set point dengan variable 0 volt s/d 10 volt dan diteruskan kepada P.I.D controller dimana terdapat rangkaian OP-AMP yang berfungsi sebagai pengendali dan kemudian diteruskan sistem perpindahan yang akan menunjuk posisi dengan variabel 0 cm s/d 10 cm seperti yang telah diatur pada set point dan di-feed back-kan kembali ke P.I.D controller.

Pada sistem perpindahan menggunakan sistem ulir berputar dan gear penyambung sebagai media berputarnya. Untuk sistem gerak mekanik menggunakan motor DC yang digerakan oleh rangkaian PWM.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah S.W.T yang telah memberikan hikmah dan rahmatNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.

Tugas akhir yang berjudul **“PENGENDALIAN POSISI MENGGUNAKAN PENGENDALI P.I.D ANALOG”** ini diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan di program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam tugas akhir ini penulis membahas serta mempelajari lebih lanjut tentang pengendalian posisi dengan menggunakan pengendali P.I.D analog.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan baik moral, material, maupun spiritual sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.

Ucapan terima kasih tersebut di tujukan kepada :

1. Bapak Dr Prawito, selaku Ketua Jurusan Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
2. Bapak Arief Sudarmaji, MT, selaku Sekretaris Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia dan selaku pembimbing yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, motivasi, bimbingan, dan pengarahan dengan sabar dan sepuh hati selama tugas akhir.
3. Bapak Surya Darma, Msc, selaku Koordinator Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
4. Seluruh staf Program D3 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
5. Keluarga khususnya orang tua tercinta dan adik yang selalu memberikan semangat, motivasi serta dukungan moral, material, dan spiritual.

6. Teman-teman seperjuangan Agui, Arief, Mario, Jeferson, Seno, Kiting, Wahyudi, Pokis, Ai, Begeng, Jacki, anak kosan Rantau ,anak kosan FB Eka Yunior dan anak Warkop yang telah membantu, memberikan dukungan, motivasi, keceriaan, suka duka, dan tanpa kalian mungkin tugas akhir ini tidak selesai.
7. Teman-teman Instrumentasi angkatan tahun 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 yang telah memberikan bantuan, motivasi secara langsung ataupun tidak langsung.
8. Teman-teman band “Last Man Standing” Ai, Binyo, Oland, Buluk yang selalu memberikan kesenangan, keceriaan dan yang penting METAL!!!!!!
9. Untuk yang tercinta dan tersayang Dhesya Desheny dan Oktavian Irsandy Ramadhan sebagai motivasi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

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

Jakarta, Januari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	vi
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	x
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Tujuan Penelitian.....	2
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Metode Penelitian.....	2
1.4. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II	
TEORI DASAR.....	5
2.1. Posisi.....	5
2.1.1. Jarak Dan Perpindahan Posisi.....	5
2.1.2. Gerak Vertikal Ke Atas.....	8
2.1.3. Gerak Vertikal Ke Bawah.....	9
2.2. Sensor.....	10
2.3. Motor DC.....	11
2.3.1. Prinsip Kerja Motor DC.....	11
2.4. P.I.D Controller.....	13
2.4.1. Open Loop Control Sistem.....	14
2.4.2. Closed Loop Control Sistem.....	14
2.4.2.1. Pengendali Proportional (P).....	15
2.4.2.2. Pengendali Integral (I).....	16
2.4.2.3. Pengendali Differensial (D).....	17
2.4.2.4. Pengendali P.I.D Struktur Paralel.....	17

	2.4.2.5. Pengendali P.I.D Struktur Seri.....	18
	2.4.2.6. Pengendali P.I.D Struktur Mix.....	19
BAB III	PERANCANGAN DAN CARA KERJA ALAT.....	20
	3.1. Perancangan.....	20
	3.1.1. Sistem Rangka.....	20
	3.1.2. Sistem Gerak.....	21
	3.2. Cara Kerja Alat.....	23
	3.2.1. Power Supply.....	23
	3.2.2. Set Point.....	24
	3.2.3. P.I.D (Proportional Integral Differensial).....	24
	3.2.4. Sistem Perpindahan.....	25
	3.3. Cara Kerja Alat.....	27
BAB IV	PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA.....	29
	4.1. Pengujian Alat Data Pengujian.....	29
	4.2. Analisa Data Pengujian.....	31
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
	A. Kesimpulan.....	33
	B. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Posisi Benda Dalam Sumbu Koordinat.....	5
Gambar 2.2 Gerak Pada Satu Sumbu Koordinat.....	6
Gambar 2.3 Perubahan Posisi Bola 3.....	7
Gambar 2.4 Gerak Vertikal Ke Atas.....	8
Gambar 2.5 Arah Gaya Magnet.....	12
Gambar 2.6 Sistem Pengendali Terbuka.....	14
Gambar 2.7 Sistem Pengendali Tertutup.....	15
Gambar 2.8 Grafik Respon Pengendali Proportional.....	16
Gambar 2.9 Grafik Respon Pengendali Integral.....	16
Gambar 2.10 Grafik Respon Pengendali Differensial.....	17
Gambar 2.11 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Paralel.....	18
Gambar 2.12 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Seri.....	18
Gambar 2.13 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Mix.....	19
Gambar 3.1 Sistem Rangka.....	21
Gambar 3.2 Sistem Gerak.....	21
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Perpindahan.....	23
Gambar 3.4 Skematik Rangkaian Power Supply.....	23
Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Set Point.....	24
Gambar 3.6 Skematik Rangkaian P.I.D.....	25
Gambar 3.7 Blok Diagram Motor Driver.....	25
Gambar 3.8 Skematik Rangkaian Sistem Perpindahan.....	27



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Data Pengujian 1.....	30
Tabel 2. Hasil Data Pengujian 2.....	31



BAB 1

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini teknologi berkembang dengan begitu pesat, salah satunya teknologi di bidang instrumentasi industri adalah sistem pengendali. Sistem pengendali 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 pengendali dapat meringankan keterbatasan yang dimiliki oleh manusia. Manusia hanya perlu mengembangkan sistem pengendali untuk meningkatkan efisiensi sehingga proses yang diinginkan berjalan dengan baik dan efektif.

Untuk mengembangkan suatu sistem pengendali 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 pengendali dapat digunakan sesuai keinginan.

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

Dalam tugas akhir ini penulis berkesempatan untuk membuat pengendalian posisi menggunakan pengendali P.I.D analog dengan pengkalibrasian besaran tertentu.

1.1 Tujuan Penelitian

Pengendalian posisi sangat berperan dalam kemajuan bidang industri, salah satu contohnya penggunaan robot sebagai alat bantu dan pengganti manusia dalam melakukan hal yang sangat kompleks pada proses produksi. Dalam penggunaan robot diperlukan pengendalian posisi yang baik untuk mendapatkan hasil yang berkualitas. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dan pembuatan alat pengendalian posisi menggunakan pengendali P.I.D analog dengan tujuan :

1. Mempelajari proses pengendalian posisi dengan menggunakan sistem pengendali P.I.D analog.
2. Mempelajari pengendalian suatu rangkaian secara analog.
3. Mempelajari prinsip kerja rangkaian P.I.D dan komponen elektronika lainnya yang digunakan dalam alat ini.

1.2 Batasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini, penulis membuat pengendali posisi dengan menggunakan sistem pengendali P.I.D analog yang membatasi masalah pada sistem perpindahan.

1.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipergunakan dan dilakukan selama penelitian ini memiliki tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Study Literatur

Metode ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang selengkap-lengkapny, 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.

1.4 Sistematika Penulisan

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

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TEORI DASAR

Pada bab ini akan dibahas dasar teori dari pengendali posisi dengan menggunakan pengendali P.I.D analog.

BAB 3. PERANCANGAN DAN CARA KERJA ALAT

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pembuatan alat serta cara kerja dari pengendali P.I.D analog.

BAB 4. PENGUJIAN ALAT DAN PENGAMBILAN DATA

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

BAB 5. KESIMPULAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari pengendali posisi dengan menggunakan pengendali P.I.D analog.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan pengarang buku, judul buku, edisi buku, tempat penerbit, tahun penerbitan dari buku-buku yang digunakan sebagai sumber informasi atau literature dari alat tersebut.

BAB 2

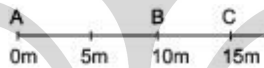
TEORI DASAR

2.1 Posisi

Posisi adalah suatu hal yang mendiskripsikan keberadaan suatu objek. Dalam hal ini penggunaan posisi dapat dijelaskan dengan suatu besaran atau skala tertentu.

2.1.1 Jarak Dan Perpindahan Posisi

Bayangkan Anda berada di pinggir jalan lurus dan panjang. Posisi Anda saat itu di A.



Gambar 2.1: Posisi Benda Dalam Sumbu Koordinat

Dari A, Anda berjalan menuju C melalui B. Sesampainya Anda di C, Anda membalik dan kembali berjalan lalu berhenti di B. Pada peristiwa di atas, berapa jauhkah jarak yang Anda tempuh; berapa pula perpindahan Anda? Samakah pengertian jarak dengan perpindahan? Dalam kehidupan sehari-hari kata jarak dan perpindahan digunakan untuk arti yang sama. Dalam Fisika kedua kata itu memiliki arti yang berbeda. Namun sebelum kita membahas hal ini, kita pelajari dulu apa yang dimaksud dengan gerak.

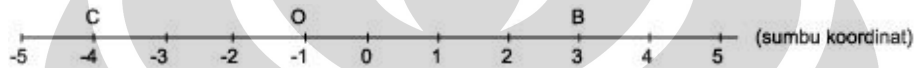
Andaikan Anda berada di dalam mobil yang bergerak meninggalkan teman Anda. Dari waktu ke waktu teman Anda yang berdiri di sisi jalan itu semakin tertinggal di belakang mobil. Artinya posisi Anda dan teman Anda berubah setiap saat seiring dengan gerakan mobil menjauhi teman Anda itu.

Apakah Anda bergerak? Ya, bila acuannya teman Anda atau pepohonan di pinggir jalan. Anda diam bila acuan yang diambil adalah mobil yang Anda

tumpangi. Mengapa? Sebab selama perjalanan posisi Anda dan mobil tidak berubah.

Jadi, suatu benda dapat bergerak sekaligus diam tergantung acuan yang kita ambil. Dalam Fisika gerak bersifat relatif, bergantung pada acuan yang dipilih. Dengan mengingat hal ini, cobalah Anda cermati uraian di bawah ini.

Sebuah bola digulirkan pada sebuah bidang datar lurus. Posisi bola setiap saat diwakili oleh garis berskala yang disebut sumbu koordinat seperti pada gambar 1.3.

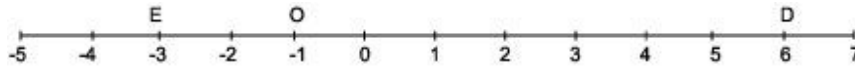


Gambar 2.2: Gerak Pada Satu Sumbu Koordinat

Andaikan ada 2 bola yang digulirkan dari O. Bola 1 digulirkan ke kanan dan berhenti di B. Bola 2 digulirkan ke kiri dan berhenti di C. Anda lihat pada gambar 1.3, bahwa panjang lintasan yang ditempuh oleh kedua bola sama, yaitu sama-sama 4 satuan. Namun bila diperhatikan arah gerakannya, kedua bola berpindah posisi ke arah yang berlawanan. Bola 1 berpindah ke sebelah kanan O, sedangkan bola 2 ke sebelah kiri O.

Jarak tidak mempersoalkan ke arah mana benda bergerak, sebaliknya perpindahan tidak mempersoalkan bagaimana lintasan suatu benda yang bergerak. Perpindahan hanya mempersoalkan kedudukan, awal dan akhir benda itu. Jarak adalah besaran skalar, sedangkan perpindahan adalah vektor. Dua benda dapat saja menempuh jarak (= panjang lintasan) yang sama namun mengalami perpindahan yang berbeda seperti pada contoh ini. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa jarak merupakan besar perpindahan?

Bila kemudian ada bola 3 bergerak dari O ke kanan, sampai di D lalu membalik bergerak ke kiri melewati O lalu berhenti di E seperti pada gambar 4, bagaimanakah dengan jarak dan perpindahannya?



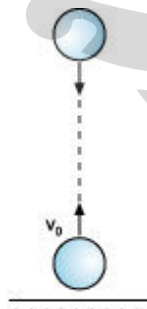
Gambar 2.3: Perubahan Posisi Bola 3

Jarak yang ditempuh bola adalah panjang lintasan $ODE = OD + DE$. Jadi $s = 6 + 9 = 15$ satuan

Perpindahan bola adalah OE (kedudukan awal bola di O , kedudukan akhirnya di E). Jadi $\Delta s = -3$ satuan.

Perhatikan tanda minus pada Δs . Hal itu menunjukkan arah perpindahan bola yaitu ke kiri dari titik acuan. Perlu dicatat pula bahwa dalam contoh di atas perbedaan antara jarak dan perpindahan ditandai baik oleh ada atau tidaknya "arah", tapi juga oleh "besar" kedua besaran itu (jarak = 15 satuan, perpindahan = 3 satuan). Mungkinkah jarak yang ditempuh oleh suatu benda sama dengan besar perpindahannya?

Untuk benda yang bergerak ke satu arah tertentu, maka jarak yang ditempuh benda sama dengan besar perpindahannya. Misalnya bila benda bergerak lurus ke kanan sejauh 5 m, maka baik jarak maupun besar perpindahannya sama-sama 5 m.



Gambar 2.4:

Gerak vertikal ke atas.

Selama bola bergerak vertikal ke atas, gerakan bola melawan gaya gravitasi yang menariknya ke bumi. Akhirnya bola bergerak diperlambat. Akhirnya setelah mencapai ketinggian tertentu yang disebut tinggi maksimum, bola tak dapat naik lagi. Pada saat ini kecepatan bola nol. Oleh karena tarikan gaya gravitasi bumi tak pernah berhenti bekerja pada bola, menyebabkan bola bergerak turun. Pada saat ini bola mengalami jatuh bebas, bergerak turun dipercepat.

2.1.2 Gerak Vertikal ke Atas

Jadi bola mengalami dua fase gerakan. Saat bergerak ke atas bola bergerak GLBB diperlambat ($a = g$) dengan kecepatan awal tertentu lalu setelah mencapai tinggi maksimum bola jatuh bebas yang merupakan GLBB dipercepat dengan kecepatan awal nol. Dalam hal ini berlaku persamaan-persamaan GLBB yang telah kita pelajari pada kegiatan lalu.

Pada saat benda bergerak naik berlaku persamaan:

1. kecepatan	: $v_t = v_o - g.t$
2. tinggi	: $h = v_o.t - \frac{1}{2} g.t^2$
3. kecepatan	: $v_t^2 = v_o^2 - 2.g.h$

Dimana :

v_o = kecepatan awal (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

t = waktu (s)

v_t = kecepatan akhir (m/s)

h = ketinggian (m)

Sedangkan pada saat jatuh bebas berlaku persamaan-persamaan gerak jatuh bebas yang sudah kita pelajari pada kegiatan lalu. Sejauh ini menyangkut gerak vertikal, telah kita pelajari gerak jatuh bebas dan gerak vertikal ke atas. Jenis lain gerak vertikal yang harus kita pelajari adalah gerak vertikal ke bawah.

2.1.3 Gerak Vertikal ke Bawah

Berbeda dengan jatuh bebas, gerak vertikal ke bawah yang dimaksudkan adalah gerak benda-benda yang dilemparkan vertikal ke bawah dengan kecepatan awal tertentu. Jadi seperti gerak vertikal ke atas hanya saja arahnya ke bawah.

Sehingga persamaan-persamaannya sama dengan persamaan-persamaan pada gerak vertikal ke atas, kecuali tanda negatif pada persamaan-persamaan gerak vertikal ke atas diganti dengan tanda positif. Sebab gerak vertikal ke bawah adalah GLBB yang dipercepat dengan percepatan yang sama untuk setiap benda yakni g .

1. kecepatan	: $v_t = v_o + g.t$
2. tinggi	: $h = v_o.t + \frac{1}{2}g.t^2$
3. kecepatan	: $v_t^2 = v_o^2 + 2.g.h$

Bila Anda berkesimpulan bahwa gerak vertikal ke bawah ini sama dengan gerak GLBB pada arah mendatar, Anda benar. Beda antara keduanya adalah bahwa pada gerak vertikal ke bawah benda selalu dipercepat, sedangkan gerak GLBB pada arah mendatar dapat pula diperlambat. Selain itu pada gerak vertikal ke bawah besar percepatan selalu sama dengan percepatan gravitasi g . Sedangkan percepatan pada GLBB arah mendatar dapat berharga berapa saja.

2.2. Sensor

Sensor dapat terjadi karena adanya keinginan manusia yang ingin melakukan segala sesuatu dengan cepat, efisien, mudah, dan praktis. Sensor adalah alat untuk mendeteksi / mengukur sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor itu sendiri terdiri dari transducer yang berfungsi untuk mengubah suatu energi ke bentuk energi yang lain.

Secara umum transducer dibedakan atas dua prinsip kerja yaitu : pertama, transducer input dapat dikatakan bahwa transducer ini akan mengubah energi non listrik menjadi energi listrik. Kedua, transducer output adalah kebalikannya, mengubah energi listrik menjadi energi non listrik.

Dalam lingkungan system pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, telinga, hidung, lidah yang kemudian akan

diolah oleh controller (PID) sebagai otaknya. Sensor banyak digunakan dalam bidang instrumentasi elektronika maupun industri salah satunya sensor posisi.

Sensor posisi yaitu sensor atau saklar yang dapat mendeteksi adanya perpindahan karena adanya kontak fisik dengan sensor. Sensor ini terdiri dari potensiometer geser yang berfungsi sebagai sensor yang digerakan oleh motor DC dan dikendalikan oleh controller (PID). Sensor ini bekerja apabila adanya perpindahan dan diukur dengan skala 0 s/d 10 cm.

2.3 Motor DC

Beberapa pemahaman dasar sangatlah perlu untuk dipahami terlebih dahulu. Beberapa pemahaman dasar tersebut antara lain : prinsip kerja motor DC. Motor DC adalah motor yang menggunakan arus DC dan ini dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak berputar. Mesin listrik dapat berlaku sebagai motor maupun sebagai generator. Perbedaannya hanya terletak dalam konveksi dayanya.

Dengan membalikan generator AC, dimana tegangan V_t menjadi sumber dan tegangan jangkar E_a merupakan ggl lawan, mesin AC ini akan berlaku sebagai motor. Oleh karena itu persamaan (4) adalah hubungan antara tegangan V_t dan E_a dapat ditulis sebagai :

$$E_a = V_t - I_a \cdot R_a \dots\dots(4)$$

Dimana :

E_a = Tegangan ggl lawan (Joule)

V_t = Tegangan sumber (V)

I_a = Arus didalam kawat (A)

R_a = Hambatan kawat (Ohm)

2.3.1 Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja motor DC dapat dijelaskan dengan teori elektromagnetik. Sebuah kawat berarus yang dipengaruhi medan magnet luar akan mengalami gaya yang disebut gaya magnet yang besarnya ditunjukkan pada persamaan (5):

$$F = B \cdot I \cdot L \dots\dots(5)$$

Dimana :

F = Gaya magnet (Newton)

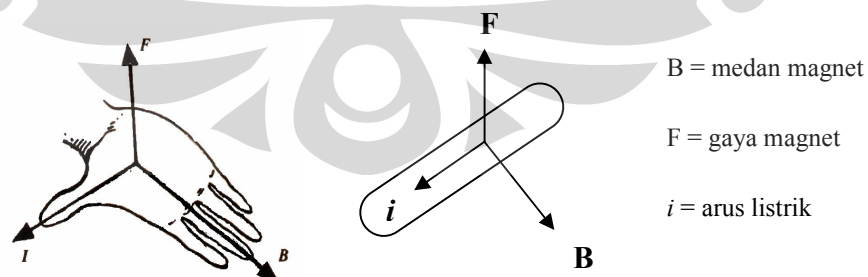
B = Medan magnet (Wb/m^2)

I = Kuat arus (A)

L = Panjang kawat (m)

Pada gambar sebuah kawat berarus listrik didalam pengaruh medan magnet sehingga kawat tersebut memiliki gaya magnet. Arah dari gaya magnet (F) dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan, yaitu :

” Keempat jari yang dirapatkan arah induksi magnetik B dan arus listrik I mengalir searah dengan ibu jari, maka kawat itu akan mendapatkan gaya magnetik F adalah searah dengan arah dorong telapak tangan”.



Gambar 2.5 Arah Gaya Magnet

Motor DC terdiri dari beberapa bagian yang akan memutar motor tersebut, yaitu :

1. Stator, merupakan bagian yang diam pada motor berupa magnet.
2. Rotor, merupakan bagian yang berputar pada motor berupa kumparan kawat.
3. Komutator, merupakan cincin belah yang berfungsi sebagai penukar arus.
4. Sikat, merupakan sepasang batang grafit yang menempel pada komutator tetapi tidak berputar.

Cara kerja dari motor DC dapat dilihat gambar pada saat arus mengalir dari kutub + baterai ke kutub - baterai melalui kumparan kawat. Maka kumparan kawat akan memiliki gaya magnet yang ditimbulkan oleh medan magnet. Sehingga kumparan kawat tersebut akan berputar searah jarum jam. Apabila arus terus mengalir dari kutub + baterai ke kutub - baterai maka kawat akan terus berputar.

2.4 P.I.D Controller

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

Pada sistem 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 Variabel.
3. MV (Manipulated Variable)
Manipulated Variable adalah harga atau nilai yang diatur agar proses menjadi 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 pengendali (contohnya : thermocouple).

5. Plant

Plant adalah objek yang akan di kendalikan (contohnya : temperature).

2.4.1 Open Loop Control Sistem

Open Loop Control Sistem atau sistem pengendali loop terbuka merupakan sistem 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. Gambar berikut menggambarkan sistem pengendali loop terbuka (Open Loop Control Sistem)

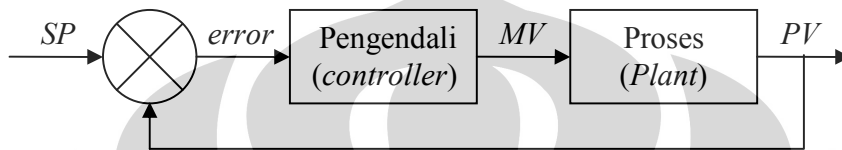


Gambar 2.6 Sistem Pengendali Terbuka

2.4.2 Closed Loop Control Sistem

Closed Loop Control Sistem atau sistem pengendali loop tertutup yaitu sistem 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 interfensi 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. Gambar berikut menggambarkan sistem pengendali loop tertutup (Closed Loop Control Sistem).



Gambar2.7 Sistem Pengendali Tertutup

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.

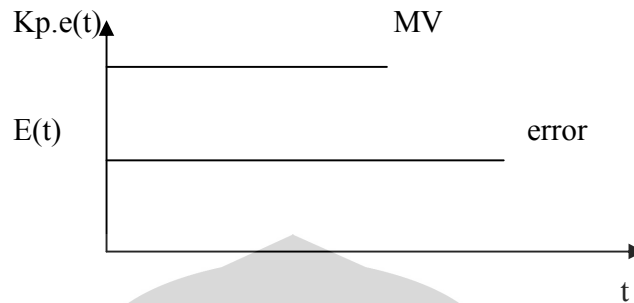
2.4.2.1 Pengendali Proportional (P)

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

Persamaan (1) adalah hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendalian ini adalah :

$$MV = K_p \times V_{error}.....(1)$$

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



Gambar 2.8 Grafik Respon Pengendali Proporsional

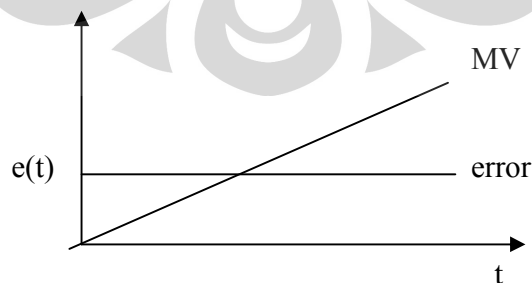
2.4.2.2 Pengendali Intergral (I)

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

Persamaan (2) adalah hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendali ini adalah :

$$MV = Ti \times \int V_{error} dt \dots (2)$$

Karena pengendali integral hanya mengintegrasikan sinyal input saja maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini :



Gambar 2.9 Grafik Respon Pengendalian Integral

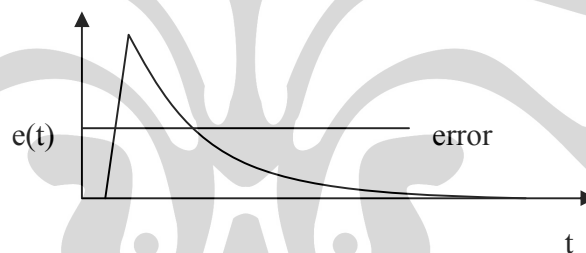
2.4.2.3 Pengendali Differensial (D)

Pengendalian differensial berfungsi untuk mengdeferensialkan sinyal input lalu dikalikan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai tertentu.

Persamaan (3) adalah hubungan antara input (error) dan output (MV) pada pengendalian ini adalah :

$$MV = Td \times \frac{d V_{error}}{Dt} \dots\dots(3)$$

Karena pengendalian differensial hanya mengdifferensialkan sinyal input saja, maka hubungan antara sinyal error dan sinyal MV dapat digambarkan seperti grafik respon berikut ini :

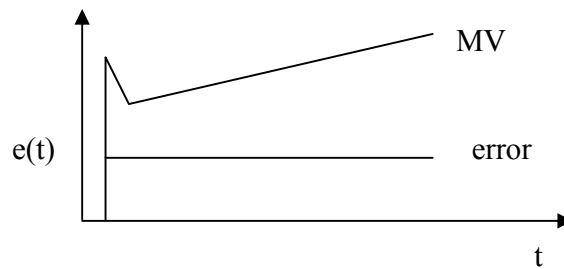


Gambar 2.10 Grafik Respon Pengendali Differensial

2.4.2.4 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 respon berikut ini :

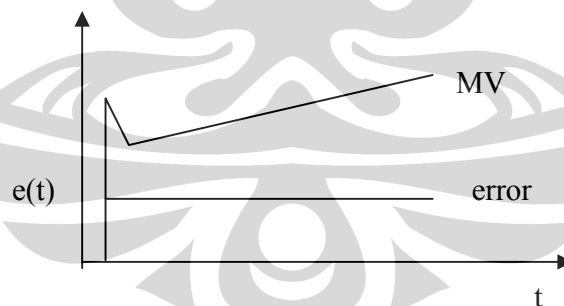


Gambar 2.11 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Paralel

2.4.2.5 Pengendalian P.I.D Struktur Seri

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

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

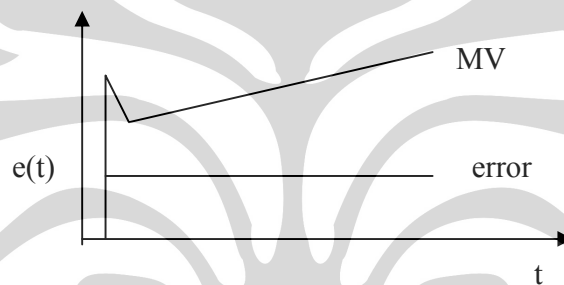


Gambar 2.12 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Seri

2.4.2.6 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 di hubungkan ke output pengendali proporsional.

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 berikut ini



Gambar 2.13 Grafik Respon Pengendali P.I.D Struktur Mix

BAB 3

PERANCANGAN DAN CARA KERJA ALAT

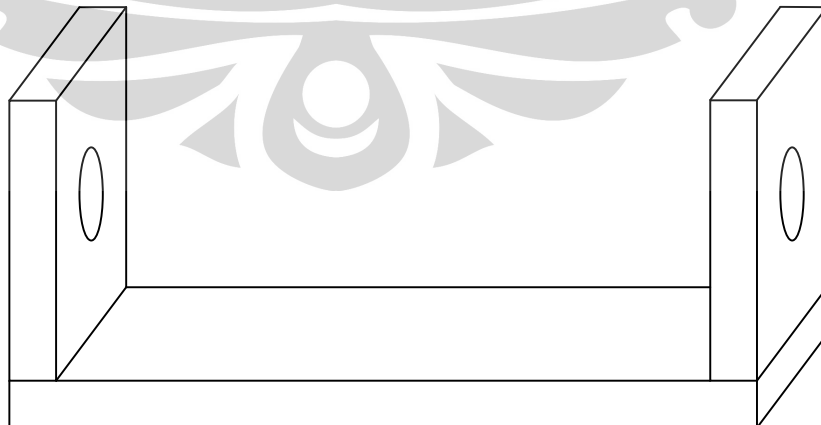
Pada bab ini akan di jelaskan pembuatan kronstruksi mekanik dan cara kerja rangkaian Pengendalian Posisi dengan menggunakan pengendali P.I.D Analog.

3.1 Perancangan

Dalam perancangan ini dijelaskan tentang sistem rangka dan sistem gerak. Berikut ini akan di uraikan bagian mekanik yang terdapat di dalam alat ini. Sebagian besar dari sistem mekanik menggunakan bahan fiber glass (acrylic) dengan ketebalan 5 mm. Dipilihnya bahan ini karena memiliki beberapa kelebihan yaitu mudah di bentuk (dengan di bor, di potong, di bubut), ringan, kuat dan tidak mudah pecah.

3.1.1 Sistem Rangka

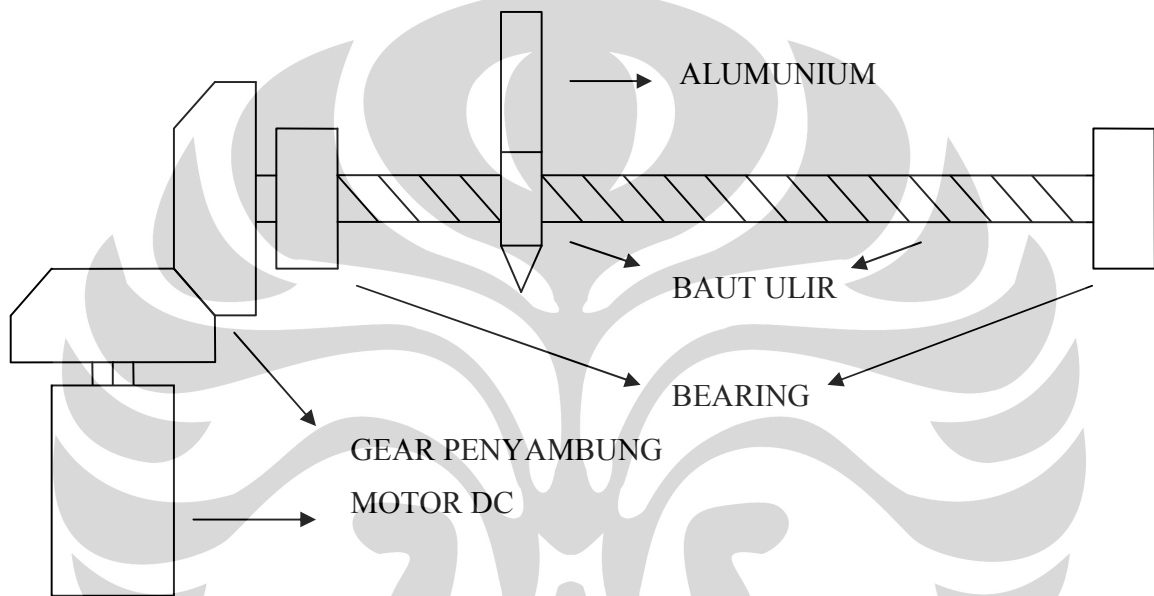
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahan dasar dari alat ini adalah acrylic, hal ini di maksudkan karena selain harganya terjangkau juga mudah di bentuk dan ringan. Adapun sistem rangka di gunakan terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Sistem Rangka

3.1.2 Sistem Gerak

Dalam sistem posisi menggunakan P.I.D analog adalah sebuah pengubah mekanis dari posisi linier menjadi bilangan analog. Sistem gerak yang digunakan yaitu mengubah dari gerak berputar menjadi gerak linier dengan menggunakan motor DC. Sistem gerak yang dilakukan melakukan gerak ke depan dan gerak ke belakang seperti yang terlihat pada gambar berikut :



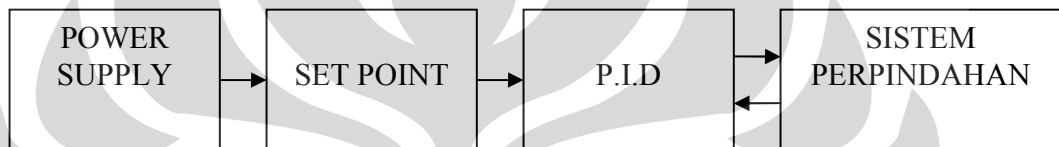
Gambar 3.2 Sistem Gerak

Seperti yang terlihat pada gambar di atas, sistem gerak pengendali ini menggunakan sistem baut ulir. Baut ulir yang di gunakan adalah setebal 5 mm dengan panjang 16 cm. Baut ulir ini adalah sebagai media yang bekerja (berputar) untuk menggerakkan pengendali dengan gerak ke depan dan gerak ke belakang. Pengendali tersebut akan bergerak karena terhubung oleh alumunium (konektor) yang terpasang pada baut ulir yang di gerakkan oleh motor DC dimana di motor DC tersebut terdapat gear penyambung dengan baut ulir. Motor DC ini akan bekerja bila di beri tegangan 12 Volt. Dengan demikian tuas tersebut dapat di putar kearah yang di inginkan, yaitu kearah atas dan kearah bawah dengan mengubah polaritas dari supply yang diberikan ke motor DC.

Pada sistem ini, selain baut ulir terdapat bearing sebagai tumpuan untuk berjalannya pengendali. Dengan bearing pengendali akan berjalan dengan lancar yang digerakkan oleh motor DC.

3.2 Cara Kerja Alat

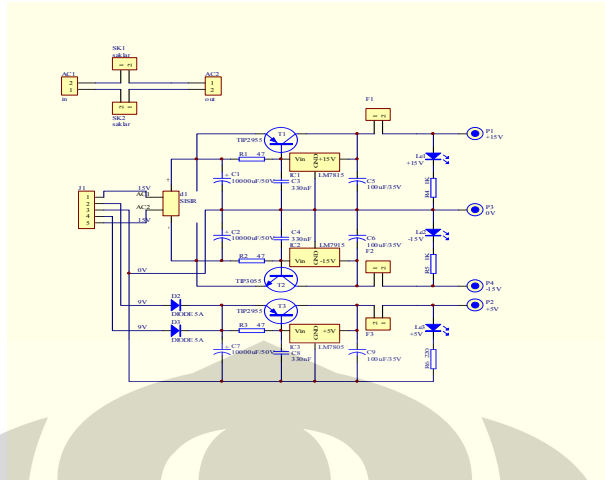
Dalam sistem ini dijelaskan tentang Power Supply, Set Point, P.I.D, dan Sistem Perpindahan yang digunakan pada Pengendalian Posisi dengan menggunakan pengendali P.I.D analog ini.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Perpindahan

3.2.1 Power Supply

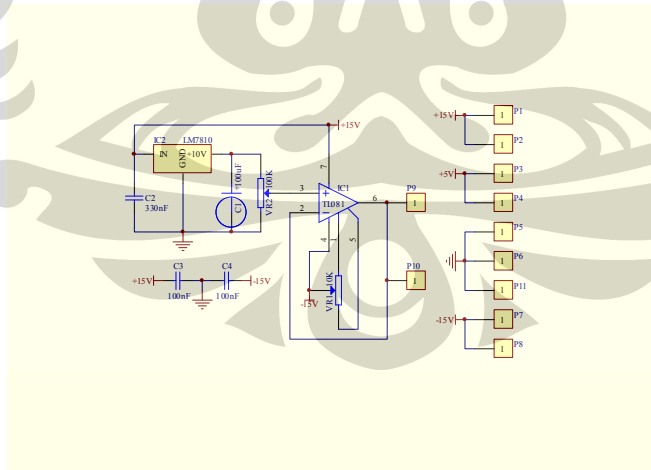
Power supply berfungsi sebagai sumber tegangan untuk semua bagian dimana tegangan yang digunakan adalah +15 volt, -15 volt, dan +5 volt kecuali pada sumber tegangan Motor DC yang mempunyai sumber tegangan sendiri karena menggunakan + 12 volt dan -12 volt.



Gambar 3.4 Skematik Rangkaian Power Supply

3.2.2 Set Point

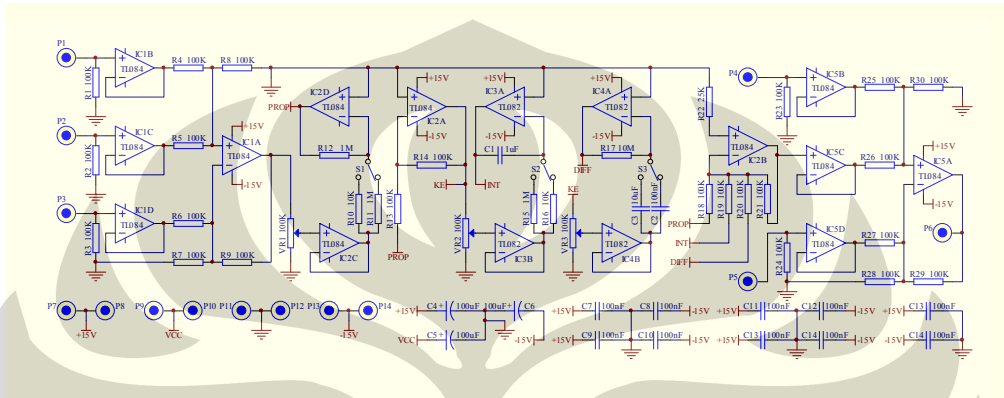
Set point berfungsi sebagai pengatur tegangan karena tegangan yang berikan oleh Power Supply adalah sebesar 15 volt, sedangkan yang digunakan dari variable 0 volt sampai dengan 10 volt dan juga untuk mendapatkan variasi data penelitian.



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Set Point

3.2.3 P.I.D (Proposional Integral Differensial)

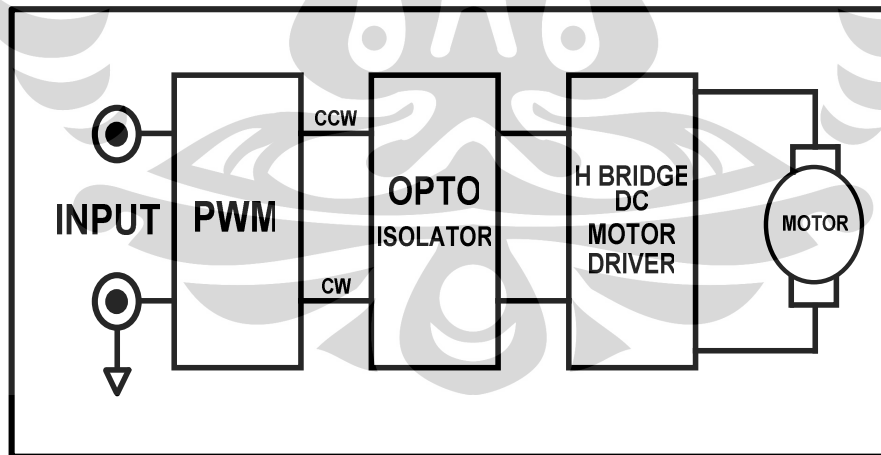
P.I.D merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengendalikan suatu sistem yang lain. Sistem pengendali yang digunakan agar kinerja suatu sistem kendali menjadi lebih baik dan tepat.



Gambar 3.6 Skematik Rangkaian P.I.D

3.2.4 Sistem Perpindahan

MOTOR DRIVER



Gambar 3.7 Blok Diagram Motor Driver

Sistem perpindahan adalah sebuah pengubah mekanis dari posisi linier menjadi bilangan analog yang merupakan gabungan dari beberapa rangkaian yaitu

: rangkaian *Zero Span* dan rangkaian motor driver yang terdiri dari rangkaian *opto isolator*, rangkaian *PWM*, rangkaian *H Bridge motor DC*.

Sebuah motor dc dapat diubah arah putarnya dengan mengubah aliran arus yang mengalir melalui kumparan kawat pada motor dc tersebut. Secara mekanik dapat dilakukan dengan mudah, yaitu dengan cara mengubah atau membalik polaritas sumber tegangan, cara ini tentu tidak praktis. Pada sistem elektronik ini dapat dibuat suatu rangkaian pengendali yang dapat mengubah arah putaran motor secara otomatis.

Pengendali motor ini mempunyai komponen dasar yaitu transistor. Salah satu penerapan dari transistor adalah sebagai saklar elektronik (*electronic switch*).

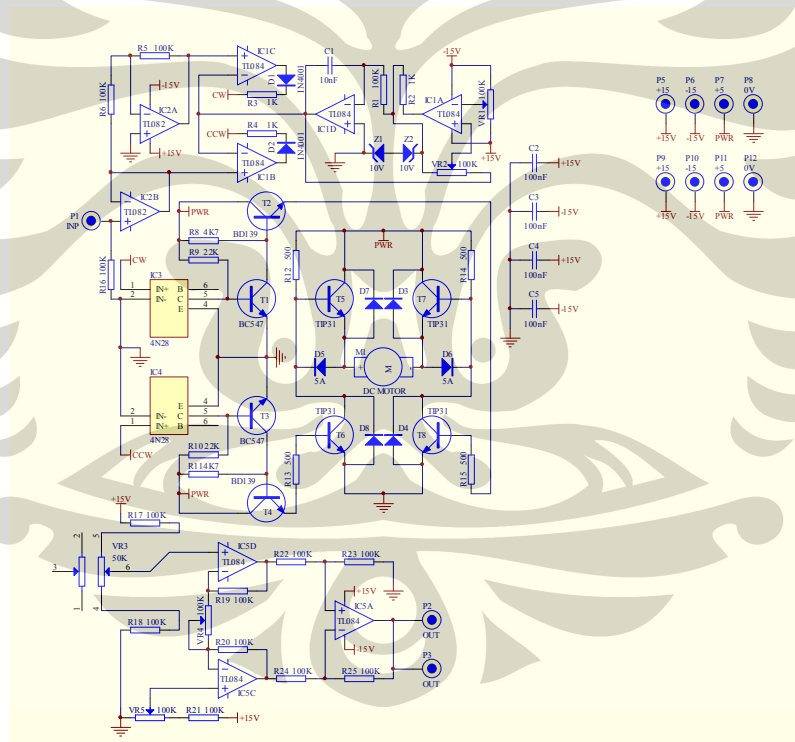
Pengendali tersebut mengendalikan sebuah motor dc secara analog. Input dari pengendali motor dc ini merupakan sinyal yang dihasilkan dari pengendali kecepatan motor (*PWM*).

Seperti telah dijelaskan pada bab dua, bahwa salah satu cara untuk mengubah arah putaran motor searah yaitu dengan menukar kutub positif (+) dan kutub (-) negatif pada sikat motor. Penukaran kutub positif dan kutub negatif pada sikat motor dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian transistor berikut ini: Input dari pengendali motor dc ini merupakan sinyal yang dihasilkan dari pengendali *PWM*. *Optocoupler* digunakan sebagai saklar penghubung dari rangkaian pengendali *PWM* dan rangkaian pengendali motor dc. *Optocoupler* ini juga berfungsi sebagai pengaman agar arus yang mengalir tidak terhubung langsung, sehingga tidak merusak rangkaian.

Rangkaian penggerak motor ini akan bekerja apabila diberi kondisi yang berbeda pada J2 (kaki 1 dan 3 berbeda kondisi). Ketika kaki 1 pada pin J2 mendapat sinyal, maka IC1 (4N28) akan aktif sehingga T1 mati (*off*). Hal ini menyebabkan T2 aktif (*on*). Hal ini dikarenakan arus yang mengalir ke *basis* T2 memiliki hambatan yang lebih kecil, sehingga arus yang mengalir ke *basis* T2 lebih besar dibandingkan arus yang mengalir ke T1. Dengan aktifnya T2 maka arus akan mengalir ke *basis* T5.

Dengan masuknya arus ke *basis* T5 maka T9 yang telah aktif akan mengalirkan arusnya menuju 0 volt melalui T5, sehingga menggerakkan motor searah jarum jam.

Begitu juga sebaliknya ketika kaki 3 pada pin J2 mendapat sinyal, maka IC2 (4N28) akan aktif sehingga T3 mati (*off*). Hal ini menyebabkan T4 aktif karena arus yang mengalir ke *basis* T4 memiliki hambatan yang lebih kecil, sehingga arus yang mengalir ke *basis* T4 lebih besar dibandingkan arus yang mengalir ke T3. Dengan aktifnya T4 maka arus akan mengalir ke *basis* T6. Dengan masuknya arus ke *basis* T6 maka T8 yang telah aktif akan mengalirkan arusnya menuju 0 volt melalui T6, sehingga menggerakkan motor berlawanan arah dengan jarum jam.

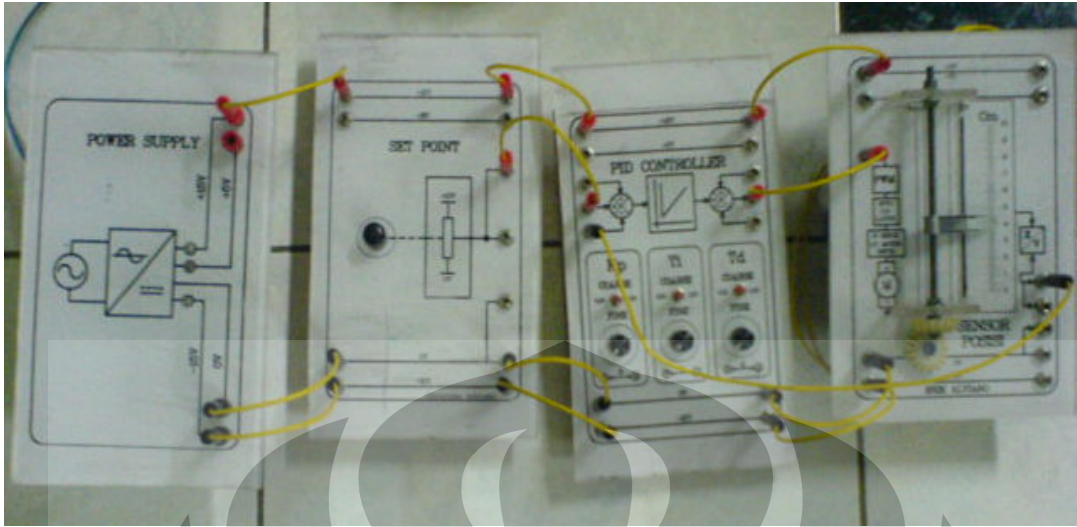


Gambar 3.8 Skematik Rangkaian Sistem Perpindahan

3.3 Cara Kerja Alat

Power supply 1 akan mengalirkan tegangan +15 volt, -15 volt dan +5 volt ke set point. Pada Set point tegangan tersebut akan diregulasikan dari variable 0 volt sampai dengan 10 volt sehingga didapatkan variasi dalam data penelitian. Setelah set point diregulasikan akan diteruskan ke P.I.D yang dimana sebagai pengendali dengan cara men-tuning menggunakan multimeter resistor variable K_p (diputar ke frekuensi rendah ke frekuensi tinggi/ ke kiri atau ke kanan), resistor variable T_d di-tuning ke frekuensi rendah/ ke kiri dan resistor variable T_i di-tuning ke frekuensi tinggi/ ke kanan. Setelah dikendalikan oleh P.I.D, maka akan diteruskan ke sistem perpindahan dimana didalamnya terdapat rangkaian PWM, Opto Isolator, H Bridge Motor DC dan rangkaian Zero Span. Motor DC yang mendapatkan tegangan dari power supply 2 akan segera merespon dan bergerak menutarkan gear penyambung dan juga akan menggerakkan baut ulir yang dimana potensio geser (pengendali posisi) terhubung oleh alumunium akan juga ikut bergerak, Perubahan bersarannya akan dikirim kembali (feed back) ke P.I.D sehingga didapatkan hasil dari penelitian.

Garis besar dari alat ini adalah untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yaitu ketika set point diatur pada besaran tertentu maka pada sistem perpindahan juga mempunyai hasil yang sama dengan set point bila diukur menggunakan multimeter. P.I.D berfungsi untuk mengontrol sistem perpindahan dan menerima besaran tertentu dari sistem perpindahan.



Gambar 3.9 Plant

BAB 4

PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pengujian alat dan analisa. Pengujian alat dilakukan untuk menyesuaikan sistem elektronik dengan sistem mekanik yang dirancang. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian yang berulang-ulang pada alat tersebut.

Pada pengujian alat ini seharusnya didapat hasil data pengujian yang linier tetapi hasil didapat hampir mendekati linier sehingga perlu direvisi kembali sistem mekanik yang telah dibuat supaya hasil data pengujian lebih tepat dan akurat.

Namun rangkaian yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik menggunakan dimana hasil pada pengendali posisi sama dengan nilai set point walaupun hasil yang didapat sedikit meleset dari yang diinginkan.

4.1 Pengujian Alat Data Pengujian

Pada pengujian alat ini dilakukan dengan cara memutar resistor variable pada set point dari 0.5 volt sampai dengan 7.5 volt dan mentunning besaran P.I.D yaitu K_p sebesar 3.91 $K\Omega$, T_i sebesar 18.21 $K\Omega$ dan T_d sebesar 97.9 $K\Omega$. Pengujian alat ini juga dilakukan secara berulang-ulang. Dari pengujian alat diatas didapatkan hasil data pengujian sebagai berikut :

Table 1 Hasil Data Pengujian 1:

Percobaan	Output Set Point (Volt)	Output Pengendali (Cm)
1	0.5	0.481
2	1.0	0.979
3	1.5	1.480
4	2.0	1.983
5	2.5	2.486
6	3.0	2.992
7	3.5	3.498
8	4.0	4.001
9	4.5	4.51
10	5.0	5.01
11	5.5	5.51
12	6.0	6.02
13	6.5	6.51
14	7.0	7.02
15	7.5	7.52

Table 2 Hasil Data Pengujian 2:

Percobaan	Output Set Point (Volt)	Output Pengendali (Cm)
1	0.5	0.494
2	1.0	0.987
3	1.5	1.491
4	2.0	1.991
5	2.5	2.481
6	3.0	2.989
7	3.5	3.498
8	4.0	4.000
9	4.5	4.50
10	5.0	5.01
11	5.5	5.51
12	6.0	6.01
13	6.5	6.51
14	7.0	7.01
15	7.5	7.51

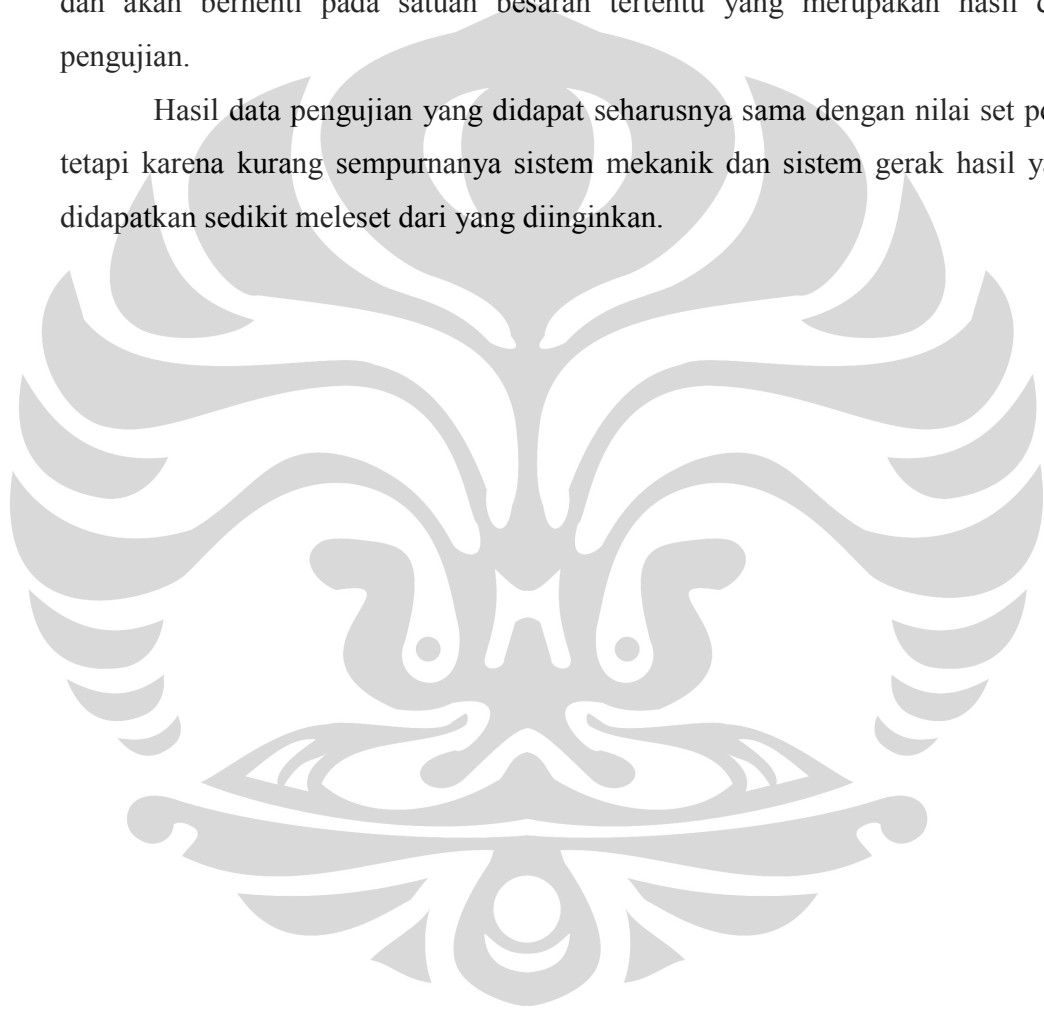
4.2 Analisa Data Pengujian

Dari hasil pengujian, didapatkan data-data sebagai perbandingan. Dari hasil pengujian pengendali posisi menggunakan P.I.D analog, didapatkan data yang hampir mendekati linier. Sebagai contoh ketika set point di set sebesar 0.5 volt output pada pengendali adalah sebesar 0.481 volt (hasil data penelitian 1, percobaan 1). Seharusnya hasil data penelitian sama dengan nilai set point yaitu 0.5 volt juga, sehingga perlu direvisi kembali sistem mekanik yang telah dibuat supaya hasil data pengujian lebih tepat dan akurat. Dikarenakan aluminium (konektor) dengan baut ulir kurang kuat sehingga pengendali posisi bergerak tidak sempurna atau sedikit kendur sehingga di perlukan bantuan tangan untuk menjaga

aluminium dan pengendali posisi tetap presisi. Dan mungkin juga di sebabkan kurang sempurnanya sistem mekanik pada waktu penempelan acrylic dengan plant (tidak sejajar) dalam pembuatan rangkanya sehingga mempengaruhi pergerakan pengendali posisi.

Tetapi proses pada alat ini benar karena setelah mengatur set point, pengendali posisi akan terlebih dahulu beresilasi sampai satuan waktu tertentu dan akan berhenti pada satuan besaran tertentu yang merupakan hasil data pengujian.

Hasil data pengujian yang didapat seharusnya sama dengan nilai set point tetapi karena kurang sempurnanya sistem mekanik dan sistem gerak hasil yang didapatkan sedikit meleset dari yang diinginkan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan proses pengujian dan pengambilan data yang terkait dalam penelitian ini dapat di ambil beberapa kesimpulan dan saran yang di harapkan dapat berguna bagi pengembangan penelitian ini lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

1. Pengendali posisi menggunakan P.I.D analog mempunyai hasil data pegujian yang linier.
2. Sistem pengendalian terbagi atas dua jenis yaitu Open Loop Control Sistem dan Closed Loop Control Sistem.
3. Hasil data pengujian sama dengan nilai set point.
4. Sistem P.I.D Controller terdiri dari: Kp (Propotional), Ti (Integral), Td (Differensial).

5.2 Saran

1. Sistem rangkanya harus direvisi kembali agar hasil data pengujian yang didapat sesuai dengan yang diinginkan.
2. Sistem geraknya juga harus direvisi, terutama pada alumunium (konektor) yang terhubung dengan pengendali posisi kurang kuat atau sedikit kendor.
3. Gear penyambung diusahakan terbuat dari besi karena penulis menggunakan gear penyambung yang terbuat dari nilon.
4. Dalam penggunaan komponennya lebih baik memilih komponen yang presisi agar hasil data yang didapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Malvino, Prinsip-Prinsip Elektronika*, Erlangga, Jakarta, 1995.
2. *Faulkenberry, Luces M., An Introduction to Operational Amplifier, With Linear IC Applications, 2nd ed*, John Wiley& Sons.
3. B. J Wibisono, Drs, *Ilmu Elektronika 2*, P.T Indah Kalam Karya, Jakarta, 1978.
4. Giancoli, Douglas C. *Fisika*, Erlangga, 2001.

