

(0806221317)

**PENGENDALIAN SUDUT TUAS TERHADAP
PERMUKAAN BIDANG PUTAR PADA PENDULUM**

Skripsi Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Fisika

FERY WIBOWO

0305220305



**PROGRAM SARJANA EKSTENSI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA**

2008

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Fery Wibowo
NPM : 0305220305
Jurusan : Ekstensi Fisika
Peminatan : Fisika Instrumentasi
Tanggal Sidang : 3 Juli 2008
Judul Skripsi : PENGENDALIAN SUDUT TUAS TERHADAP
PERMUKAN BIDANG PUTAR PADA PENDULUM

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

PEMBIMBING I



(Drs. Arief Sudarmaji, M.T)

PEMBIMBING II




(Djati Handoko, Msi)

PENGUJI I



(Dr. B.E.F Da Silva)

PENGUJI II



(Djoenaedi S, M.Si)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas ridhonya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Sudut Tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar pada Pendulum” bertujuan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana Fisika Instrumentasi Elektronika, Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia.

Dengan terselesaikannya penelitian dan laporan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses pelaksanaan dan penyelesaiannya. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih dan rasa hormat kepada:

- 1 Allah SWT atas segala kuasa-Nya di langit dan bumi.
- 2 Bpk. Drs. Arief Sudarmadji, M.T, selaku dosen pembimbing 1, atas semua waktu, motivasi dan solusi alternative terbaik yang sangat membantu selama pembuatan dan penyelesaian penelitian ini.
- 3 Bpk Djati Handoko, M.Si, selaku dosen pembimbing 2, yang telah memberikan waktu luangnya selama proses penyelesaian alat, juga bimbingan, koreksi dan diskusi yang bermanfaat selama penyelesaian penelitian ini.
- 4 Seluruh Dosen Fisika FMIPA yang telah memberikan ilmunya serta seluruh staf dan karyawan yang telah membantu kepada penulis.
- 5 Bapak dan Ibuku tercinta, dengan segala keikhlasan, kesabaran, semangat juga doa yang tak henti-hentinya selalu dipanjatkan dalam

setiap kata dan doa. Ya Allah SWT yang Maha Mulia, berikanlah ridho-Mu disetiap sudut jalan hidup mereka

6 Seluruh rekan-rekan seperjuangan, Iwan, Farhan, Faridi, Amel, Johan, yayu, Firidy, danu, bayu, mahe, yudi dan yang lainnya yang selalu memberikan dan menguatkan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.

7 Seluruh Rekan-rekan Fisika Ekstensi angkatan 2005.

8 Semua pihak yang secara tidak langsung ikut terlibat dalam pembuatan tugas akhir ini yang tidak saya sebutkan satu persatu, semoga amal baik yang telah dilakukan dibalas di kemudian hari.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan, kesalahan dan jauh dari kata sempurna dalam pembuatan dan penyusunan skripsi ini. Besar harapan penulis kepada semua pihak untuk dapat memberikan saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai dasar kuat agar selanjutnya dapat membuat skripsi yang lebih baik. Terima kasih, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Depok, Juni 2008

Penulis

Pengendalian Sudut Tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar Pada

Pendulum

ABSTRAK

Aplikasi sistem kontrol banyak digunakan dalam berbagai bidang aplikasi. Sistem yang dibuat adalah suatu sistem yang terintegrasi dengan *microcontroller* serta sensor sebagai input dari suatu besaran analog. Aplikasi *microcontroller* pada penelitian ini terdiri dari beberapa parameter seperti potensiometer. Dalam penelitian ini, pengendalian sudut tuas didasarkan pada kecepatan putaran motor DC. Untuk dapat merealisasikan suatu perubahan sudut tuas, digunakan cara kerja dari sistem putaran motor, dalam hal ini PC (Personal Computer) berperan sebagai inputan atau masukan nilai sudut dan memberikan inputan data sebagai pengendali PID pada putaran motor DC. *Microcontroller* juga memberikan data ke driver motor DC, kemudian motor DC berputar sehingga menghasilkan pergerakan sudut pada batang tuas sesuai dengan yang diinginkan. Kecepatan putaran pada motor DC dikendalikan oleh pulsa-pulsa PWM (Pulse Width Modulation) dan kontrol PID. Data dari *microcontroller* diberikan ke LCD untuk menampilkan perubahan sudut tuas.

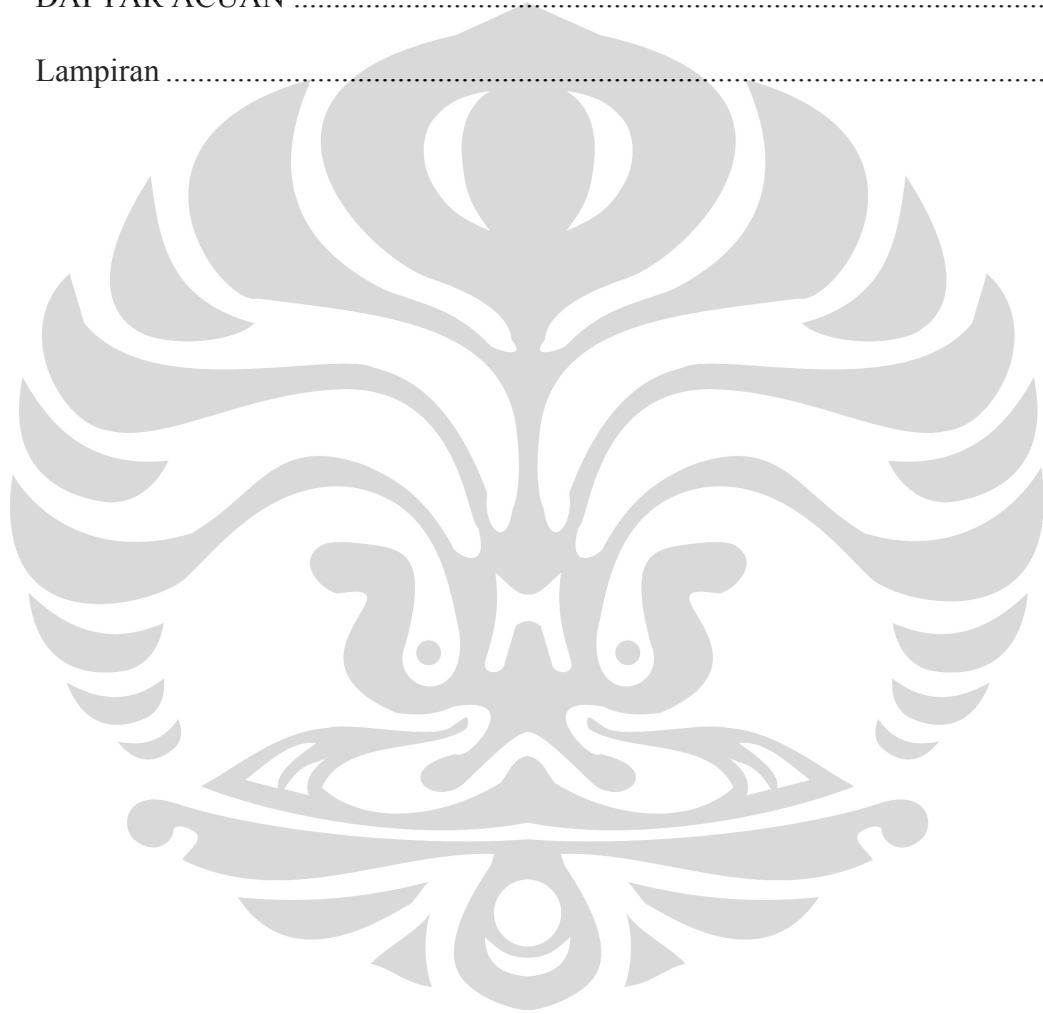
Kata kunci— Microcontroller, sensor, PID, pwm

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 PEMBATAAN MASALAH	2
1.4 DESKRIPSI SINGKAT	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TEORI DASAR	7
2.1 Gerak melingkar	7
2.2 Gaya sentripetal	9
2.3 Motor Listrik	11
2.3.1 Prinsip Kerja Motor	12
2.3.2 Motor DC	13
2.3.3 Cara Membalik Arah Motor DC	15
2.3.4 Mempercepat Putaran Motor DC	15
2.4 Pulse Width Modulation (PWM)	16

2.5	Sistem kontrol	18
2.5	Resistor	23
2.61	Resistor Tidak Tetap (variabel).....	24
2.6.2	Karakteristik potensiometer	26
 BAB III PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM		27
3.1	Sistem Eksperimen Pengendalian Sudut Tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar	27
3.1.1	Sensor Potensiometer	29
3.1.2	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	30
3.1.3	Personal Computer (PC).....	33
3.1.4	Motor DC	34
3.1.5	Driver Motor	35
3.1.6	Pengendali Motor	36
3.1.7	Power Supply	43
3.1.8	Rangkaian Minimum Sistem.....	44
3.2	Perangkat lunak	45
3.2.1.	Alur LCD	46
3.2.2.	Pengendali motor	46
 BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM.....		48
4.1	Pengujian Eksperimen	48
4.2	Pengujian karakteristik sensor potensiometer	51
4.3	Kalibrasi sensor potensiometer	52

4.4	Pengujian motor DC	53
BAB V BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR ACUAN		57
Lampiran		58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Konstruksi pengendalian sudut tuas terhadap permukaan bidang putar pada pendulum.....	3
Gambar 2.1.	Susunan untuk mencari perubahan kecepatan, ΔV , sebuah partikel yang bergerak melingkar.....	7
Gambar 2.2.	Dalam gerak melingkar beraturan, percepatan a selalu mengarah ke pusat lingkaran, jadi selalu tegak lurus pada kecepatan v	9
Gambar 2.3.	Bandul Kerucut.....	10
Gambar 2.4.	Kaidah tangan kanan	12
Gambar 2.5	Motor DC	13
Gambar 2.6.	Posisi awal gerakan motor.....	13
Gambar 2.7.	Posisi motor setelah 180°	14
Gambar 2.8.	Sinyal PWM dengan duty cycle 50%	16
Gambar 2.9.	Sinyal PWM dengan <i>duty cycle</i> 10%	17
Gambar 2.10.	Diagram Blok Komponen Dasar Sistem Kontrol.....	19
Gambar 2.11.	Diagram Blok Prinsip Sistem Kontrol.....	21
Gambar 2.12.	Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Terbuka	22
Gambar 2.13.	Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Tertutup.....	22
Gambar 2.14.	V dan I linier pada tahanan.....	23
Gambar 2.15.	Simbol potensiometer	25
Gambar 2.16.	Resistor variabel jenis karbon	25
Gambar 2.17.	Mengatur level beda potensial.....	26
Gambar 3.1.	Blok diagram Sistem Kerja Alat.	27

Gambar 3.2.	Konstruksi mekanik pengendalian sudut	29
Gambar 3.3.	konstruksi Potensiometer	30
Gambar 3.4	Rangkaian Penguat Masukan Diferensial.....	31
Gambar 3.5	Rangkaian pengikut Tegangan	32
Gambar 3.6	Konfigurasi slot DB-9	33
Gambar 3.7	Konstruksi motor DC	34
Gambar 3.8	Rangkaian Driver Motor.....	35
Gambar 3.9	Blok Pengendali Motor.....	36
Gambar 3.10	Blok Diagram Kontrol Proporsional	38
Gambar 3.11	Blok Diagram Aksi Kontrol Integral.....	39
Gambar 3.12	Blok Diagram Aksi Kontrol PI.....	40
Gambar 3.13	Blok Diagram Kontrol PD.....	41
Gambar 3.14	Blok Diagram Unit Pengendali PID.....	42
Gambar 3.15	Rangkaian Regulator	43
Gambar 3.16	Skematik Rangkaian Minimum Sistem.....	44
Gambar 3.17	Flowchart LCD.....	46
Gambar 3.18	Flowchart pengendali.....	47
Gambar 4.1	Protokol pengendali PB.....	49
Gambar 4.2	Protokol pengendali TI.....	49
Gambar 4.3	Protokol pengendali TD.....	50
Gambar 4.4	Protokol menentukan seting point.....	50
Gambar 4.5	Tampilan LCD	51
Gambar 4.6	Grafik hubungan sudut terhadap resistansi.....	51
Gambar 4.7	Grafik hubungan sudut terhadap tegangan keluaran dari	

potensiometer	52
Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut terhadap tegangan ADC.....	53
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara tegangan motor DC terhadap sudut	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Susunan Pin <i>port serial</i> (COM).....	34
--	----



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dewasa ini perkembangan teknologi yang semakin berkembang menyebabkan semakin banyaknya penemuan-penemuan alat terutama dalam bidang sains dan teknologi khususnya akan kemudahan dalam melakukan suatu pengukuran atau menentukan nilai atau harga tertentu dari suatu objek.

Dengan penguasaan ilmu pengetahuan sangatlah penting dan berpengaruh dalam kehidupan manusia. Agar dapat menguasai serta mendapatkan pemahaman yang baik dalam pembelajaran suatu bidang ilmu, maka hendaklah dilakukan suatu proses pembelajaran dan melakukan praktek terhadap teori-teori sehingga dapat mengimplementasikan dalam dunia nyata. Salah satu contohnya adalah ilmu tentang gerak yang dinamakan kinematika yaitu salah satu cabang mekanika.

Gerak dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan kedudukan suatu benda terhadap keadaan sekitarnya. Pada kebanyakan gerak yang sesungguhnya, tiap-tiap titik pada suatu benda bergerak menurut lintasanya masing-masing. Suatu benda dikatakan bergerak atau melakukan gerakan jika telah berubah dari kedudukannya semula.

Dengan latar belakang tersebut, penulis ingin mempelajari dan merancang suatu alat yang efektif dalam bidang fisika khususnya gerak benda dengan memanfaatkan putaran piringan yang menghasilkan gaya sentripetal, untuk putaran piringan tersebut menggunakan sistem kontrol motor listrik dan rangkaian

komponen elektronik. Alat ini diharapkan memberikan kemudahan kepada penggunanya.

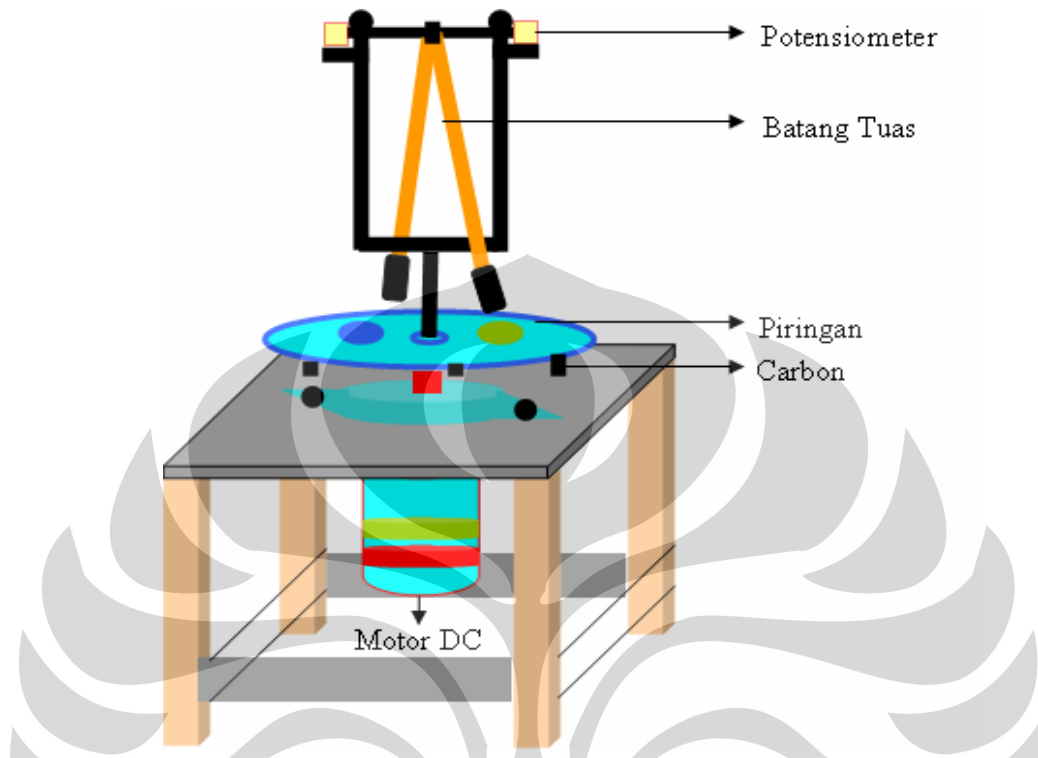
1.2 TUJUAN PENELITIAN

1. Merancang rangkaian dan membuat alat pengendalian sudut tuas terhadap permukaan bidang putar.
2. Mempelajari dan memahami kecepatan putaran piringan yang akan mempengaruhi pergerakan tuas dan bandul.
3. Agar mahasiswa dapat mengetahui, dan mampu mengaplikasikan terhadap ilmu pengetahuan dan teori yang didapatkan dibangku perkuliahan dengan kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan, sehingga hasil dari aktivitas tersebut dapat membangkitkan mahasiswa lebih banyak membuka wawasan dalam bertindak atau berinovasi untuk pengembangan ilmu pengetahuan baik secara teori maupun praktek.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membahas mengenai pembuatan konstruksi mekanik, pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung terhadap sistem cara kerja pengendalian sudut tuas terhadap permukaan bidang putar serta pengaplikasian sistem pengontrolan pada rancangan alat.

1.4 DESKRIPSI SINGKAT



Gambar 1. Konstruksi pengendalian sudut tuas terhadap permukaan bidang putar pada pendulum.

Dengan mengontrol kecepatan putaran motor DC, sebuah piringan yang ditempatkan di atas motor DC akan berputar sehingga bandul yang ditempatkan pada ujung batang tuas akan berputar pula. Pada potensiometer digunakan sebagai sensor, dimana sensor ini akan mendeteksi perubahan nilai resistansi yang disebabkan adanya perubahan sudut pada batang tuas. Perubahan sudut pada batang tuas tersebut dipengaruhi oleh putaran motor DC dan massa bandul. Karena adanya perubahan nilai resistansi pada potensiometer maka tegangan keluaran dari potensiometer akan berubah. Kemudian nilai tegangan keluaran dari potensiometer akan dikirim ke rangkaian pengkondisi sinyal dan ke

microcontroller untuk diproses agar sesuai dengan nilai yang diinginkan. Data dari microcontroller diberikan ke LCD untuk menampilkan perubahan sudut tuas.

Pulsa - pulsa yang dihasilkan oleh PWM digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor DC. Lebar pulsa menunjukkan lamanya motor DC aktif. Dengan demikian, kecepatan putaran motor DC dapat diatur hanya dengan mengubah lebar pulsa dari output PWM.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir antara lain :

1. Studi Literatur

Metode ini digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, *data sheet*, dan buku-buku yang berhubungan dengan tugas akhir penulis.

2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat ini merupakan tahap awal penulis untuk mencoba memahami, menerapkan, serta menggabungkan semua literatur yang diperoleh maupun yang telah dipelajari untuk melengkapi sistem serupa yang pernah dikembangkan, dan selanjutnya penulis dapat merealisasikan sistem sesuai dengan tujuan.

3. Uji Sistem

Dalam uji sistem ini berkaitan dengan pengujian alat serta pengambilan data dari alat yang telah dibuat.

4. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang diperoleh dari pengujian alat serta pengambilan data. Pengambilan data meliputi kecepatan, massa. Setelah itu dilakukan penganalisisan sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka skripsi ini dibagi menjadi beberapa bab yaitu:

BAB I Pendahuluan

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

BAB II Teori Dasar

Teori dasar berisi landasan-landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dalam perancangan dan pembuatan alat (*hardware*) serta pembuatan program (*software*).

BAB III Perancangan Sistem

Pada bab ini akan dijelaskan secara keseluruhan sistem kerja dari hardware dan program penghubung (*software*) yang terlibat.

BAB IV Pengujian Sistem dan Pengambilan Data

Bab ini berisi tentang hasil kerja alat. Pengujian akhir dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian-bagian kecil dari sistem untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan awal. Setelah sistem berfungsi dengan baik maka dilanjutkan dengan pengambilan data untuk memastikan kapabilitas dari sistem yang dibangun.

BAB V Penutup

Penutup berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengujian sistem dan pengambilan data selama penelitian berlangsung, selain itu juga penutup memuat saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini baik dari segi perangkat keras (*hardware*) dan program (*software*).

BAB II

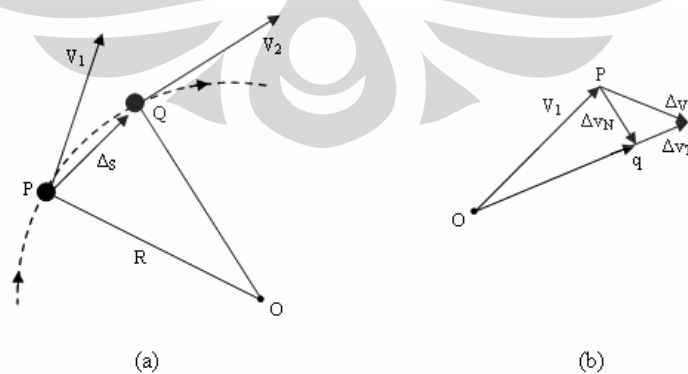
TEORI DASAR

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tentang dasar-dasar teori yang menunjang pembahasan tentang penelitian ini. Hal yang dibahas meliputi konsep gerak melingkar, motor listrik, dan komponen-komponen pendukung yang terdapat pada sistem tersebut.

2.1 Gerak melingkar

Percepatan sebuah partikel yang bergerak pada lintasan yang melengkung dapat diuraikan menjadi komponen yang normal dan yang tangensial terhadap lintasan tersebut. Hubungan antara komponen normal percepatan, laju partikel dan radius lengkung lintasan tidaklah rumit[1].

Gambar 2.1 melukiskan sebuah partikel yang bergerak dalam lingkaran beradius R dan titik pusatnya di O . Perubahan kecepatan secara vektor, Δv , dilukiskan pada gambar 2.1 (b). Vektor Δv_N dan vektor Δv_T merupakan komponen normal dan komponen tangensial Δv .



Gambar 2.1 Susunan untuk mencari perubahan kecepatan, ΔV , sebuah partikel yang bergerak melingkar.

Segitiga OPQ dan opq pada gambar 2.1(a) dan (b) sebangun karena keduanya merupakan segitiga sama kaki dan sisi panjang masing-masing saling tegak lurus. Jadi :

$$\frac{\Delta V_N}{V_1} = \frac{\Delta s}{R} \quad \text{atau} \quad \Delta V_N = \frac{V_1}{R} \Delta s$$

Karena itu besar percepatan normal rata-rata \bar{a}_N ialah

$$\bar{a}_N = \frac{\Delta v_N}{\Delta t} = \frac{v_1}{R} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Percepatan normal sesaat a_N di titik P merupakan harga limit rumus ini, jika titik Q diambil semakin mendekat ke titik P:

$$a_N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_1}{R} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{V_1}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

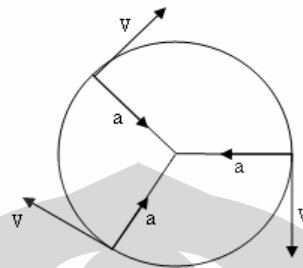
Tetapi harga limit $\Delta s/\Delta t$ adalah laju v_1 di titik P dan karena P dapat berada di setiap titik lintasan, maka kita lenyapkan saja tanda indeks dari v_1 , dan tuliskan saja v untuk menyatakan laju di setiap titik, maka :

$$a_N = \frac{v^2}{R} \tag{2.1}$$

Jadi besar percepatan normal sesaat sama dengan kuadrat laju dibagi oleh jari-jari. Arahnya menuju ke dalam di sepanjang jari-jari, mengarah ke pusat lingkaran itu. Karena arahnya yang ke pusat inilah maka percepatan itu disebut percepatan sentripetal atau percepatan radial ("Sentripetal" berarti "mencari pusat")[1].

Gambar 2.2 memperlihatkan hubungan sesaat antara \mathbf{a} dan \mathbf{v} di beberapa titik dalam gerakan. Besar dari \mathbf{v} tetap, tetapi arahnya senantiasa berubah. Hal ini memberikan percepatan yang besarnya juga tetap, (tidak nol) dan arahnya terus menerus berubah. Kecepatan \mathbf{v} selalu menyinggung lingkaran dalam arah gerak,

sedangkan percepatan **a** selalu radial kedalam. Itu sebabnya percepatan **a** disebut percepatan radial atau **percepatan sentripetal**. Sentripetal (centripetal) artinya "menuju (mencari) pusat"[2].



Gambar 2.2 Dalam gerak melingkar beraturan, percepatan **a** selalu mengarah ke pusat lingkaran, jadi selalu tegak lurus pada kecepatan **v**.

Satuan percepatan sentripetal sama saja dengan satuan percepatan biasa yang diperoleh dari perubahan besar kecepatan. Secara dimensional dapat kita tuliskan :

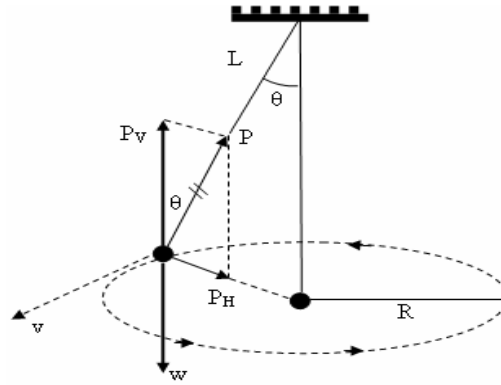
$$\frac{v^2}{R} = \left(\frac{\text{panjang}}{\text{waktu}} \right)^2 \Big/ \text{panjang} = \frac{\text{panjang}}{\text{waktu}^2} \text{ atau } \frac{L}{T^2} \quad (2.2)$$

Yang tidak lain daripada dimensi percepatan, karena itu satuannya dapat menggunakan kaki/s² atau m/s² dan sebagainya[2].

2.2 Gaya sentripetal

Percepatan radial sebuah partikel yang bergerak melingkar telah diungkapkan, sekarang kita terapkan hukum kedua newton ($F = ma$) untuk menentukan gaya radial pada partikel itu. Karena besar percepatan radial sama dengan v^2 / R dan arahnya menuju ke pusat maka besar gaya radial pada sebuah partikel bermassa **m** ialah :

$$F = m \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Bandul Kerucut

Gambar 2.3 melukiskan sebuah benda kecil bermassa m berputar dalam lingkaran horisontal dengan kecepatan v yang besarnya konstan pada ujung seutas tali yang panjangnya L . Tatkala benda berputar dalam lintasannya., gerak tali akan melukiskan permukaan kerucut. Tali membentuk sudut θ dengan arah vertikal, sehingga radius lingkaran lintasan benda ialah $R = L \sin \theta$ dan besar kecepatan v sama dengan $2\pi L \sin \theta / T$, dimana T adalah waktu satu putaran.

Gaya-gaya yang bekerja pada benda dalam posisi seperti digambarkan ialah beratnya sendiri w' dan gaya tegangan dalam tali P . Andaikan P diuraikan menjadi komponen horisontal P_H dan komponen vertikal P_V , yang masing-masing besarnya $P \sin \theta$ dan $P \cos \theta$. Benda itu tidak mempunyai percepatan vertikal, sehingga gaya vertikal $P \cos \theta$ dan w adalah sama, dan resultan gaya radial ke pusat atau gaya sentripetal merupakan komponen $P \sin \theta$. Maka

$$P \sin \theta = m \frac{v^2}{R}, \quad P \cos \theta = w$$

Apabila persamaan yang pertama dibagi oleh yang kedua dan w diganti oleh mg , maka kita peroleh

$$\tan \theta = \frac{v^2}{Rg} \quad (2.4)$$

Apabila kita gunakan hubungan $R = L \sin \theta$ dan $v = 2\pi L \sin \theta / T$, maka persamaan (2.5) menjadi

$$\cos \theta = \frac{gT^2}{4\pi^2 L} \quad (2.5)$$

atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.5) memperlihatkan bahwa sudut θ bergantung kepada waktu putaran T dan panjang tali L . Untuk panjang L tertentu $\cos \theta$ berkurang jika waktu putarnya berkurang dan sudut θ membesar. Tetapi sudut itu tidak pernah mencapai 90° , sebab untuk itu haruslah $T = 0$ atau $v = \infty$ [1].

2.3 Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini banyak digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat beban atau lain sebagainya. Motor listrik juga digunakan di rumah ataupun di industri. Motor listrik kadangkala disebut "kuda kerja" nya industri, sebab diperkirakan motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Motor listrik dikelompokkan menjadi motor DC dan motor AC, perbedaannya terdapat pada tegangan yang menggerakannya. Motor AC digerakkan oleh tegangan bolak-balik (AC), sedangkan motor DC digerakkan oleh tegangan searah (DC)[3].

2.3.1. Prinsip Kerja Motor

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Prinsip kerja motor DC dapat dijelaskan dengan teori *elektromagnetik*. Misal sebuah kawat berarus yang dipengaruhi medan magnet akan mengalami gaya magnet yang besarnya ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$F = B \cdot i \cdot L \sin \alpha \quad (2.7)$$

Dimana:

F = gaya magnet (Newton)

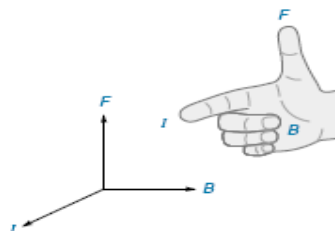
B = medan magnet luar (Wb/m^2)

i = kuat arus (Ampere)

L = panjang kawat (Meter)

α = sudut yang dibentuk medan magnetic dengan arus

Pada sebuah kawat berarus listrik di dalam pengaruh medan magnet, maka arah gaya **F** dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan:



Gambar 2.4 Kaidah tangan kanan

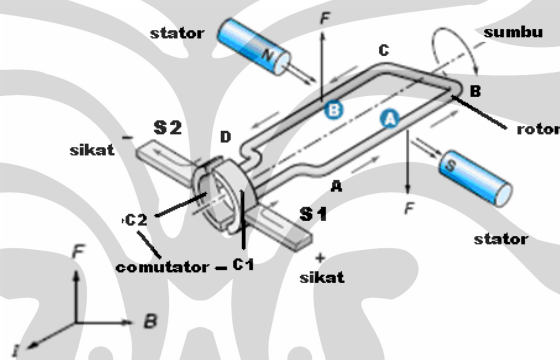
2.3.2 Motor DC

Motor arus searah. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang konstan[3].



Gambar 2.5. Motor DC

Cara kerja motor DC dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut :

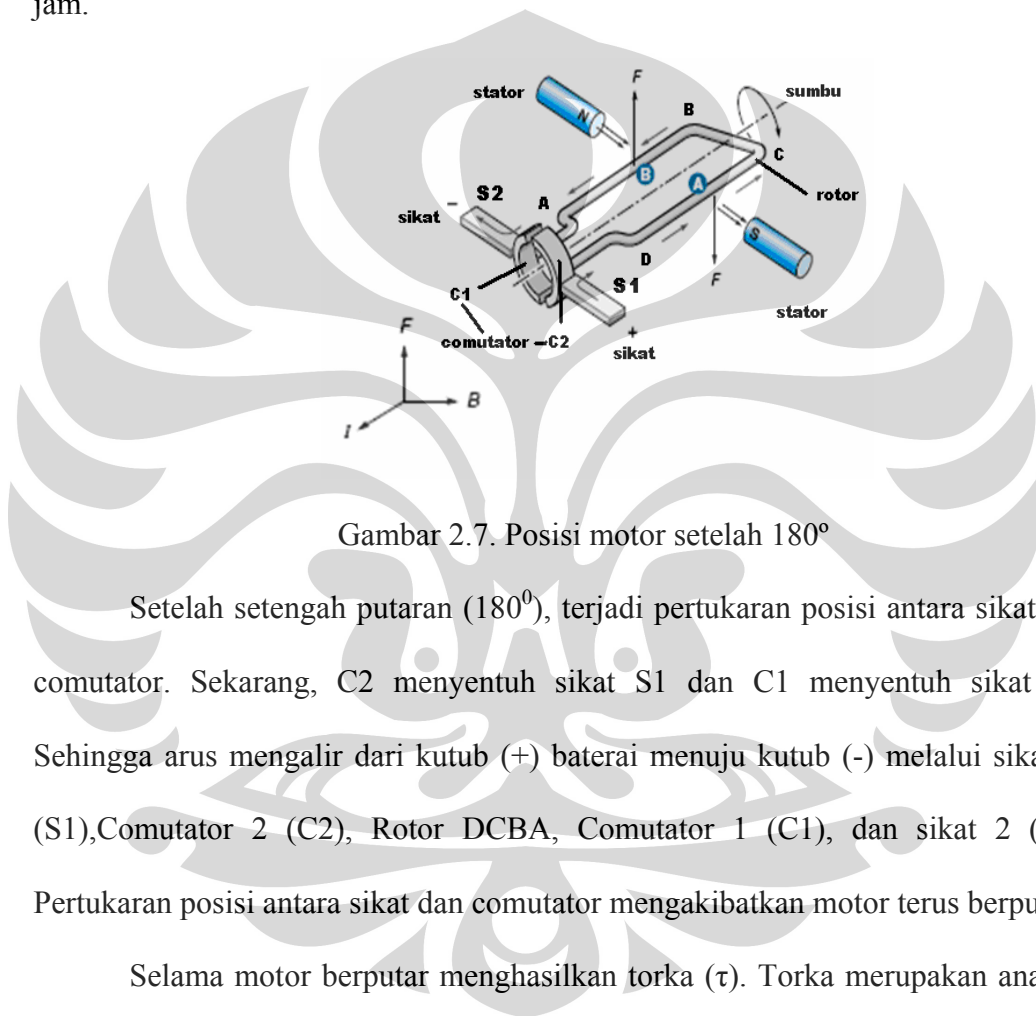


Gambar 2.6. Posisi awal gerakan motor

Motor DC terdiri atas bagian-bagian yang dapat menggerakkan motor tersebut, yaitu:

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

Misalkan kedudukan mula-mula seperti pada gambar 2.6 arus listrik mengalir dari kutub (+) baterai melalui sikat S1 – cincin C1- rotor ABCD – cincin C2 – sikat S2 – kembali ke kutub (-) baterai. Ketika rotor CD yang dekat dengan kutub utara mengalami gaya ke atas dan sisi rotor AB yang dekat dengan kutub selatan mengalami gaya ke bawah. Akibatnya rotor ABCD berputar searah jarum jam.



Gambar 2.7. Posisi motor setelah 180°

Setelah setengah putaran (180°), terjadi pertukaran posisi antara sikat dan comutator. Sekarang, C2 menyentuh sikat S1 dan C1 menyentuh sikat S2. Sehingga arus mengalir dari kutub (+) baterai menuju kutub (-) melalui sikat 1 (S1), Comutator 2 (C2), Rotor DCBA, Comutator 1 (C1), dan sikat 2 (S2). Pertukaran posisi antara sikat dan comutator mengakibatkan motor terus berputar.

Selama motor berputar menghasilkan torka (τ). Torka merupakan analogi gaya dari gerak translasi untuk gerak rotasi. Karena torka ini dihasilkan oleh sistem elektromagnet, maka disebut torka elektromagnet. Torka yang dihasilkan motor ini mempunyai nilai yang besarnya ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\tau = rF \tag{2.8}$$

Dimana:

τ = torka (Nm)

r = jarak dari pusat rotasi ke titik beban (m)

F = Gaya (N)

2.3.3 Cara Membalik Arah Motor DC

Arah gerakan motor arus searah dapat diatur dengan dua cara yaitu mengubah polarisasi arah arus searah pada lilitan medan magnet (+) dan (-), atau dengan mengubah arah arus dengan menukar (+) dan (-) pada sikat

Pada prinsipnya membalik arah motor searah memang dengan dua cara yang telah disebutkan di atas, namun dalam suatu rangkaian elektronika kita memerlukan suatu rangkaian penggerak motor yang dapat membalik arah gerak motor dengan mudah misalnya dengan menggunakan transistor. Transistor pada rangkaian pembalik putaran motor berfungsi sebagai saklar[5].

2.3.4 Mempercepat Putaran Motor DC

Kecepatan putaran motor DC dapat ditingkatkan dengan memperbesar tegangan yang masuk ke motor, sehingga dapat mengakibatkan arus yang masuk ke motor menjadi besar pula. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm berikut ini :

$$V = i \times R \quad (2.9)$$

Dimana:

V = Tegangan (Volt)

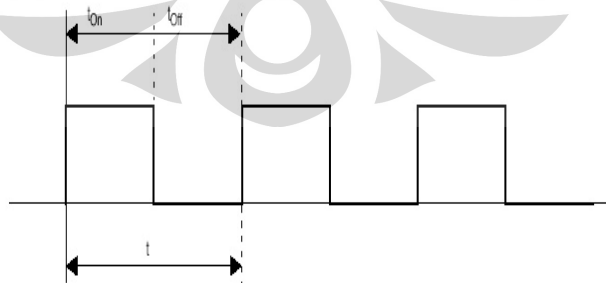
i = Besar arus (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

Dengan hambatan yang tetap dan tegangan diperbesar akan mengakibatkan arus menjadi besar pula. Dengan arus yang diperbesar maka akan menyebabkan gaya (F) menjadi besar pula sesuai dengan persamaan 2.7 di atas. Dan apabila F semakin besar maka kekuatan rotor akan semakin besar dan berdampak pada makin cepatnya putaran motor. Dari persamaan 2.7 dapat diambil kesimpulan bahwa semua unsur yang mempengaruhi nilai F dapat mempercepat putaran motor, yaitu dengan memperpanjang lilitan (memperbesar I), dan memperbesar medan magnet (B).

2.4 Teknik Pulse Width Modulation (PWM)

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 2.8. memperlihatkan sinyal kotak dengan *duty cycle* 50%.



Gambar 2.8. Sinyal PWM 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 :

$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (2.10)$$

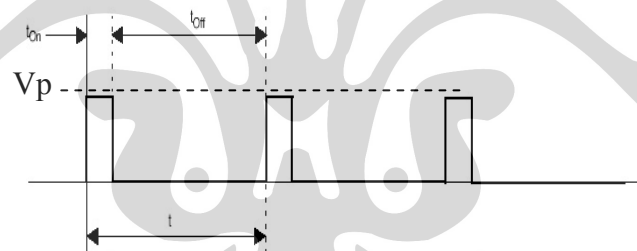
dimana : $t_1 =$ Pulsa ON

$t_2 =$ Pulsa OFF

sehingga frekuensi yang dapat dihasilkan :

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.11)$$

Dengan *duty cycle* yang bermacam-macam, rata-rata output dari tegangan DC dapat dikontrol. Seperti pada gambar 2.9 memperlihatkan sinyal kotak dengan *duty cycle* 10%.



Gambar 2.9 Sinyal PWM dengan *duty cycle* 10%

Modulasi lebar pulsa yang dihasilkan dari teknik *PWM* ini akan digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC.

Dari gambar diatas maka kita dapat mengetahui nilai RMS nya dimana :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} V_p^2 dt + \int_{t_1}^T 0 dt}{T}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^t Vp^2 dt}{T}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{Vp^2 t]_0^t}{T}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{Vp^2 t}{T}}$$

$$V_{RMS} = Vp \sqrt{\frac{t}{T}}$$

2.5 SISTEM KONTROL

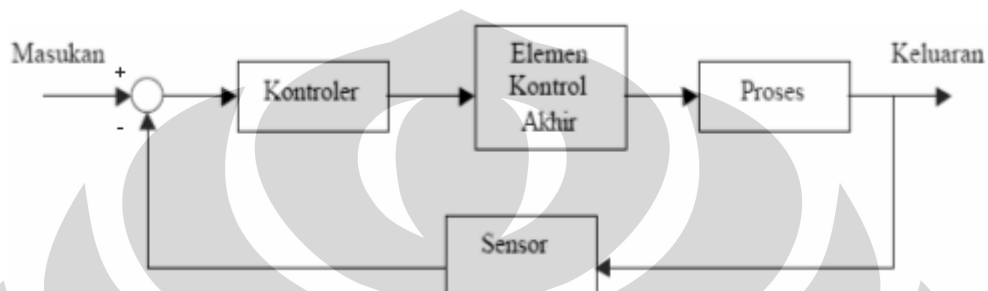
Suatu sistem kontrol adalah suatu alat atau satuan alat untuk mengatur, memerintahkan, mengarahkan atau mengatur perilaku dari alat-alat atau sistem-sistem yang lain. Suatu sistem pengendali otomatis, yaitu sebuah unit pengendali pada prinsipnya akan bekerja sebagai perangkat yang dapat membandingkan nilai sebenarnya dari sebuah variabel keluaran obyek pengendalian secara keseluruhan, dengan mengacu pada variabel masukan (nilai yang dikehendaki), menentukan penyimpangan, dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang sangat kecil[8].

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

1. *Measurement* (M) atau pengukuran, yaitu mengukur variabel yang dikontrol dengan mengkombinasikan sensor dan *transmitter*.

2. *Decision* (D) atau keputusan, didasarkan pada pengukuran, kontroler harus memutuskan apa yang harus dilakukan untuk menjaga variabel tersebut pada nilai yang diinginkan.

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



Gambar 2.10. Diagram Blok Komponen Dasar Sistem Kontrol

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

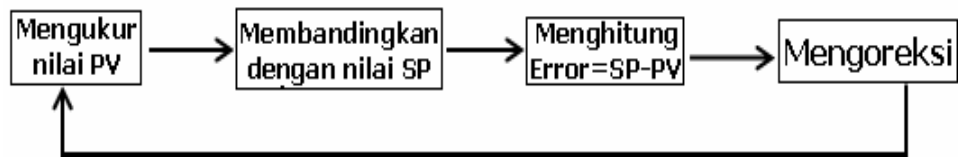
1. Sistem merupakan kombinasi dari beberapa komponen yang diinterpretasikan untuk bekerja secara bersamaan, untuk menghasilkan sasaran tertentu.
2. Proses didefinisikan sebagai suatu operasi yang sengaja dibuat, berlangsung secara terus menerus, serta terdiri atas beberapa aksi atau perubahan yang dikontrol dan diarahkan secara sistematis menuju suatu hasil atau keadaan akhir tertentu.

3. *Plant* didefinisikan sebagai seperangkat peralatan yang digunakan secara bersama-sama untuk melakukan suatu keadaan operasi tertentu. Setiap objek fisik yang dikontrol disebut dengan *plant*.
4. *Process Variable* (PV) merupakan suatu besaran yang akan diukur dan dikontrol dan berasal dari hasil pembacaan atau pemantauan terhadap proses sistem pengendalian. Pada keadaan normal, variabel yang akan dikontrol tersebut merupakan nilai keluaran dari sistem yang akan dikendalikan.
5. *Manipulated Variable* (MV) atau variabel yang *dimanipulasi* dapat didefinisikan sebagai suatu besaran atau keadaan yang diubah oleh suatu unit sistem pengendali untuk mempengaruhi nilai variabel yang dikontrol.
6. *Set Point* (SP) adalah suatu besaran yang dijadikan sebagai nilai acuan pada akhir proses. *Set point* dihasilkan melalui beberapa tahapan dengan mengoreksi dan membatasi terjadinya penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang dikehendaki dengan menerapkan nilai variabel yang *dimanipulasi* kedalam sistem yang dikontrol.
7. *Error* merupakan nilai yang didapat dari hasil selisih antara besaran SP (*Set Point*) dengan besaran PV (*Process Variable*).

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

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

4. Mengoreksi, yaitu mengubah bukaan *valve* yang sesuai dengan hasil perbandingan dan perhitungan.



Gambar 2.11. Diagram Blok Prinsip Sistem Kontrol

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

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

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

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

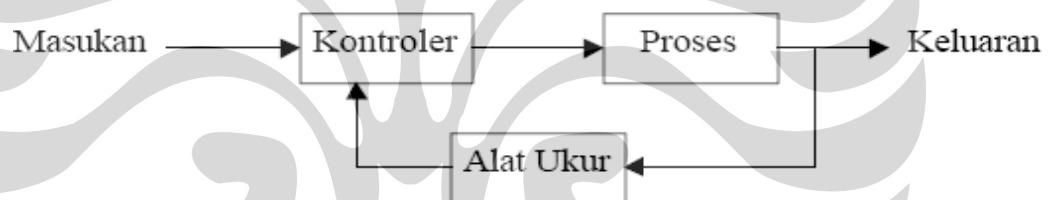
Sistem kontrol lup terbuka dapat digunakan secara efektif, apabila hubungan antara parameter masukan dan keluaran telah diketahui dengan pasti. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya gangguan saat aksi kontrol berlangsung. Struktur pada sistem kontrol lup terbuka, ditunjukkan melalui gambar berikut:



Gambar 2.12 Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Terbuka

2. Sistem kontrol lup tertutup dapat didefinisikan sebagai suatu bentuk penerapan aksi kontrol umpan balik, yang sangat berperan dan membantu dalam mengurangi adanya *error* yang diperoleh pada saat berlangsungnya proses pengendalian. Pada sistem loop tertutup, sinyal kesalahan atau perbedaan antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik akan dimasukkan kedalam suatu unit pengendali untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem pada nilai yang dikehendaki[4].

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



Gambar 2.13 Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Tertutup

Penerapan sistem kontrol lup tertutup bertujuan untuk menghasilkan sinyal *error* yang sangat kecil, melalui penggunaan metode sistem umpan balik antara besaran PV dan nilai SP, dimana proses pengaplikasian suatu unit pengendali dengan menggunakan sistem ini, pada dasarnya akan bersifat otomatis, dengan besarnya sinyal respon yang dihasilkan akan sangat tergantung pada besarnya perubahan nilai MV terhadap variabel sinyal *error*.

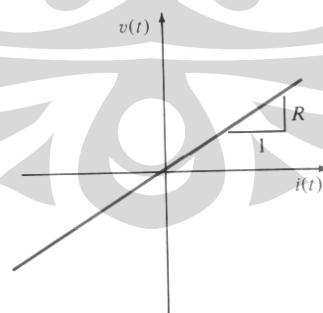
Pada suatu sistem pengendali otomatis, diperlukan suatu komponen yang dapat berperan dalam melakukan proses pengukuran. Komponen tersebut akan tersusun pada unit-unit yang dijabarkan sebagai elemen pengukur (*sensor*) dan

actuator. Sensor didefinisikan sebagai perangkat pengubah nilai variabel keluaran guna dapat dibandingkan dengan variabel acuan sinyal masukan. Elemen tersebut berada pada jalur umpan balik dari sistem kontrol lup tertutup. Sedangkan aktuator merupakan perangkat daya yang menghasilkan variabel masukan ke dalam *plant* sesuai dengan sinyal kontrol dan berguna untuk menghasilkan suatu sinyal umpan balik yang berkaitan langsung dengan variabel acuan sinyal masukan.

2.6 Resistor

Resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam satu rangkaian. Sesuai dengan namanya resistor bersifat resistif dan umumnya terbuat dari bahan karbon. Dari hukum Ohm diketahui, resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya. Satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm atau dilambangkan dengan simbol Ω (Omega).

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.12)$$



Gambar 2.14 V dan I linier pada tahanan

Untuk menyatakan resistansi sebaiknya disertakan batas kemampuan dayanya. Berbagai macam resistor di buat dari bahan yang berbeda dengan sifat-sifat yang berbeda. Spesifikasi lainyang perlu diperhatikan dalam memilih resitor

pada suatu rancangan selain besar resistansi adalah besar watt-nya. Karena resistor bekerja dengan dialiri arus listrik, maka akan terjadi disipasi daya berupa panas sebesar $W=I^2R$ watt. Semakin besar ukuran fisik suatu resistor bisa menunjukkan semakin besar kemampuan disipasi daya resistor tersebut. Umumnya di pasar tersedia ukuran 1/8, 1/4, 1, 2, 5, 10 dan 20 watt. Resistor yang memiliki disipasi daya 5, 10 dan 20 watt umumnya berbentuk kubik memanjang persegi empat berwarna putih, namun ada juga yang berbentuk silinder. Tetapi biasanya untuk resistor ukuran jumbo ini nilai resistansi dicetak langsung dibadannya, misalnya 100W5W.

Resistor dalam teori dan prakteknya di tulis dengan perlambangan huruf R. Dilihat dari ukuran fisik sebuah resistor yang satu dengan yang lainnya tidak berarti sama besar nilai hambatannya. Nilai hambatan resistor di sebut **resistansi**. Tahanan yang berubah-ubah, seperti yang tercantum dari namanya, memiliki sebuah terminal tahanan yang dapat diubah harganya dengan memutar dial, knob, ulir atau apa saja yang sesuai untuk suatu aplikasi. Mereka bisa memiliki dua atau tiga terminal, akan tetapi kebanyakan memiliki tiga terminal. Jika dua atau tiga terminal digunakan untuk mengendalikan besar tegangan, maka biasanya di sebut **potensiometer**. Meskipun sebenarnya piranti tiga terminal tersebut dapat digunakan sebagai rheostat atau potensiometer (tergantung pada bagaimana dihubungkan), ia biasa disebut potensiometer bila daftar dalam majalah perdagangan atau diminta untuk aplikasi khusus.

2.6.1 Resistor Tidak Tetap (variabel)

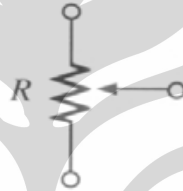
Resistor tidak tetap adalah resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah atau tidak tetap. Jenisnya yaitu hambatan geser, Trimpot dan Potensiometer.

a. Trimpot

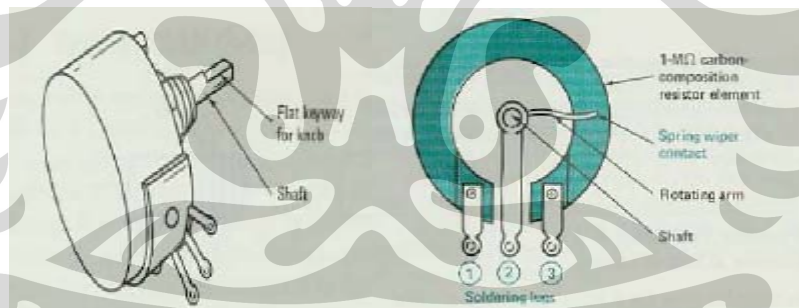
Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan menggunakan obeng. Untuk mengetahui nilai hambatan dari suatu trimpot dapat dilihat dari angka yang tercantum pada badan trimpot tersebut.

b. Potensiometer

Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan memutar poros yang telah tersedia. Potensiometer pada dasarnya sama dengan trimpot secara fungsional.



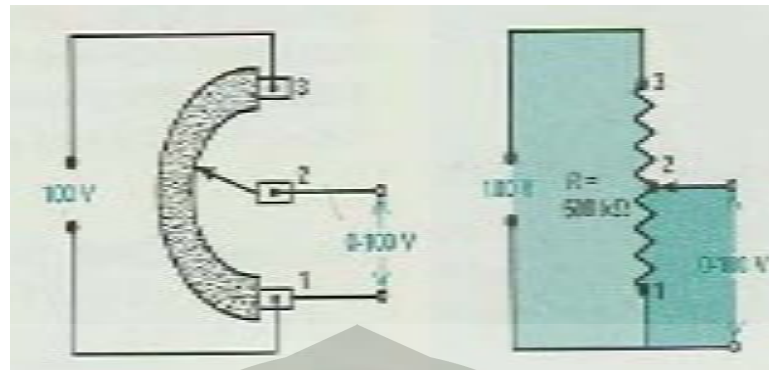
Gambar 2.15 Simbol potensiometer



Gamabar 2.16 Resistor variabel jenis karbon

Nilai resistansi variabel diperoleh diantara kaki tengah dengan salah satu kaki pada ujung kiri/kanan, sedangkan diantara ujung-ujung kaki kanan dan kiri nilai resistansinya konstan

Potensiometer : resistor variabel yang berfungsi untuk membagi tegangan, ujung-ujungnya dipasang paralel dengan sumber tegangan



Gambar 2.17 Mengatur level beda potensial

2.6.2 Karakteristik potensiometer

Resistor variabel resistansinya berubah-ubah sesuai dengan perubahan dari pengaturannya. Resistor variabel dengan pengatur mekanik, pengaturan oleh cahaya, pengaturan oleh temperature, suhu atau pengaturan lainnya.

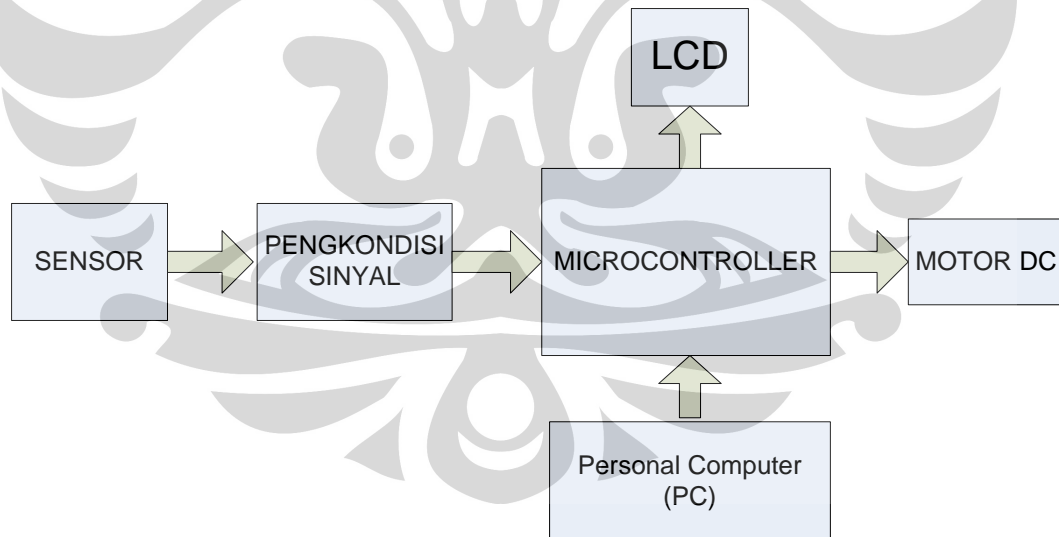
Jika perubahan nilai, resistansi potensiometer sebanding dengan kedudukan kontak gesernya maka potensiometer semacam ini disebut potensiometer linier. Tetapi jika perubahan nilai resistansinya tidak sebanding dengan kedudukan kontak gesernya disebut potensiometer logaritmis.

BAB III

PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem beserta cara kerja dari masing-masing hardware serta software yang digunakan dalam penyusunan dan pembuatan alat “Pengendalian Sudut Tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar Pada Pendulum”. Perangkat keras terdiri dari beberapa bagian antara lain potensiometer yang digunakan sebagai sensor, pengkondisi sinyal, microcontroller.

3.1 Sistem Eksperimen Pengendalian Sudut Tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar.

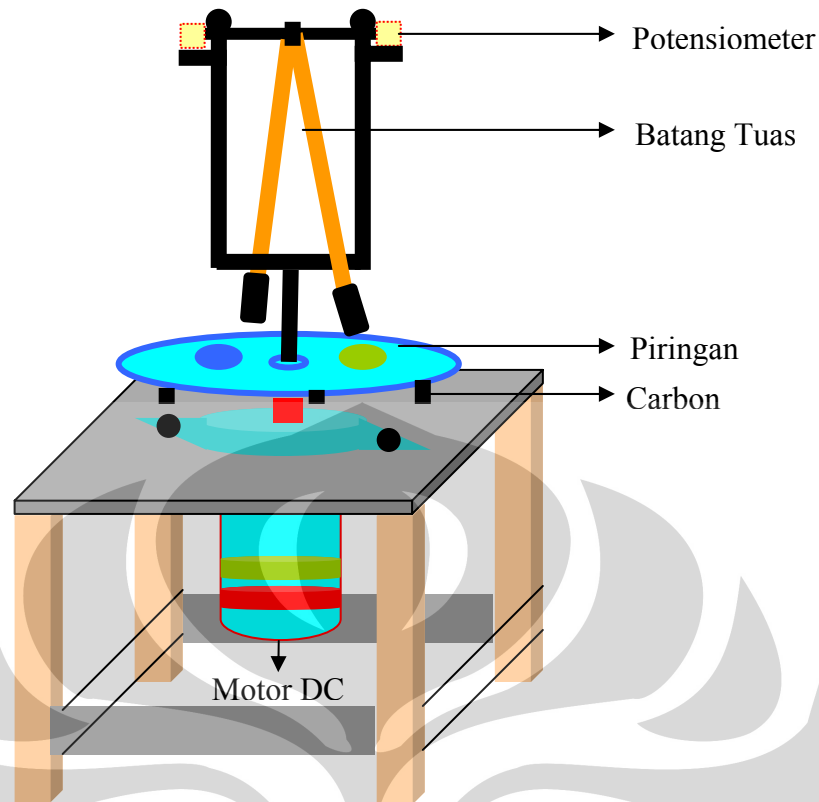


Gambar 3.1. Blok diagram Sistem Kerja Alat

Pengembangan eksperimen pengendalian sudut tuas ini meliputi perancangan eksperimen dimana didalamnya didukung oleh potensiometer yang digunakan sebagai sensor, pengkondisi sinyal, dan microcontroller. Pada gambar

3.1 menunjukkan diagram sistem eksperimen pengendalian sudut tuas Terhadap Permukaan Bidang Putar.

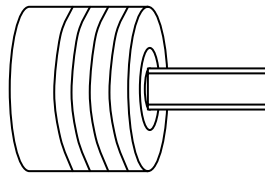
Dalam penelitian ini, pengendalian sudut tuas didasarkan pada kecepatan putaran motor DC. Untuk dapat merealisasikan suatu perubahan sudut tuas, digunakan cara kerja dari sistem putaran motor, dalam hal ini PC berperan sebagai inputan atau masukan nilai sudut yang diinginkan. Data yang diberikan dari computer yaitu melalui komunikasi serial akan dikirimkan ke microcontroller, kemudian microcontroller akan mengolah data dan memberikan data ke LCD (Liquid Crystal Display) untuk ditampilkan. Selain itu, microcontroller juga memberikan data ke driver motor DC sehingga motor DC berputar sesuai dengan yang diinginkan. Kecepatan putaran pada motor DC dikendalikan oleh pulsa-pulsa PWM (Pulse Width Modulation). Kenaikkan sudut pada batang tuas hingga beberapa derajat dipengaruhi oleh berat bandul, panjang batang tuas dan kecepatan putaran motor DC yang diberikan. Semakin cepat putaran motor DC, maka semakin besar pula sudut yang dihasilkan pada batang tuas. Adapun dari pada putaran motor DC juga mengakibatkan perubahan nilai resistansi pada sensor potensiometer. Tegangan dari potensiometer dimasukkan ke rangkaian pengkondisi sinyal dan tegangan output dari pengkondisi sinyal dibatasi sebesar 5 Volt karena sesuai dengan tegangan maksimum ADC yang digunakan yang telah tersedia pada IC microcontroller. Data dari microcontroller diberikan ke LCD untuk menampilkan perubahan sudut tuas, set point (SP), Process variable (PV).



Gambar 3.2 Konstruksi mekanik pengendalian sudut

3.1.1 Sensor Potensiometer

Potensiometer (spectrol) yang digunakan dalam perancangan alat ini merupakan potensiometer linier yang perubahannya sangat halus dengan jumlah putaran sampai sepuluh kali putaran (multi turn). Untuk keperluan sensor posisi potensiometer linier memanfaatkan perubahan resistansi. Tingkat resolusi dan besarnya nilai sensitivitas yang dimiliki oleh komponen potensiometer memiliki peran yang sangat penting didalam menentukan parameter sistem pengoperasian.



Gambar 3.3 konstruksi Potensiometer

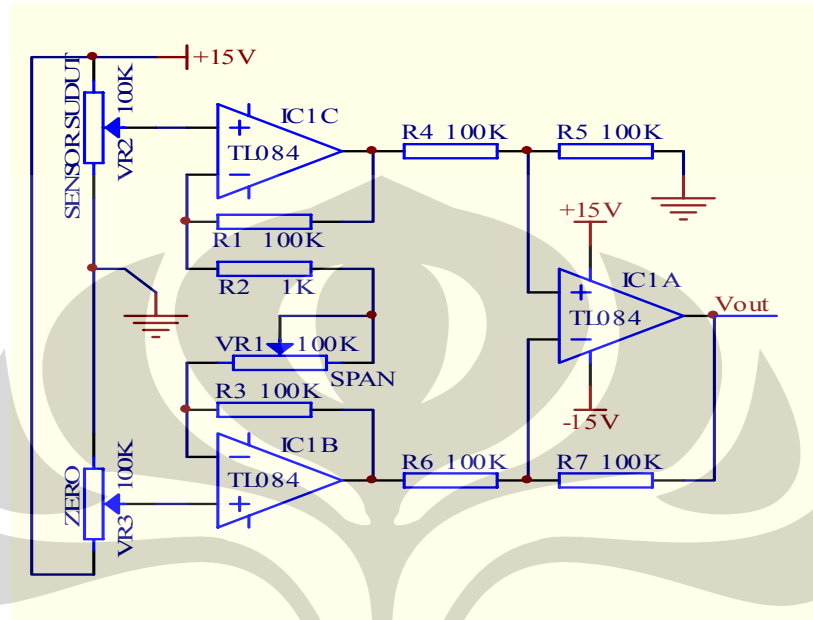
Pada potensiometer di pasang di atas piringan setinggi 13 cm , ketika suatu tegangan dipasang melintasi ujung tertentu dari potensiometer, tegangan keluaran yang melintasi ujung variabel dan *ground* adalah sebanding dengan perpindahan masukan, baik bersifat linear ataupun menurut beberapa hubungan non-linear. Perubahan nilai resistansi terhadap tegangan keluaran (Output) pada prinsipnya adalah berbanding lurus. Dimana ketika suatu beda potensial ditempatkan pada ujung terminal tertentu pada pin potensiometer, maka beda potensial yang melewati titik antara ujung terminal lainnya dan ground akan dikeluarkan dan diukur dengan rasio sebanding dengan perpindahan masukan. Pada potensiometer ini diberikan tegangan masukan sebesar +15 V.

3.1.2 Rangkaian pengkondisi sinyal

Penguat sinyal yang digunakan adalah penguat diferensial yang memiliki impedansi masukan tinggi. Rangkaian penguat sinyal yang digunakan memiliki dua inputan tegangan non-inverting, dimana dari kedua inputan tersebut diberikan tegangan sebesar +15Volt yang melalui potensiometer. Pada pengkondisi sinyal ini, terdapat rangkaian *non-inverting* yang berarti *fase* yang dikeluarkan tidak akan dibalik. Sinyal yang masuk akan diperkuat oleh TL084. Rangkaian pengkondisi sinyal ini terdiri dari IC, dan komponen-komponen pendukung lainnya seperti resistor dioda. Menggunakan IC TL084 sebagai penguat

operasional yang terdiri dari empat op-amp yang memerlukan suplay tegangan +15 volt dan -15 volt.

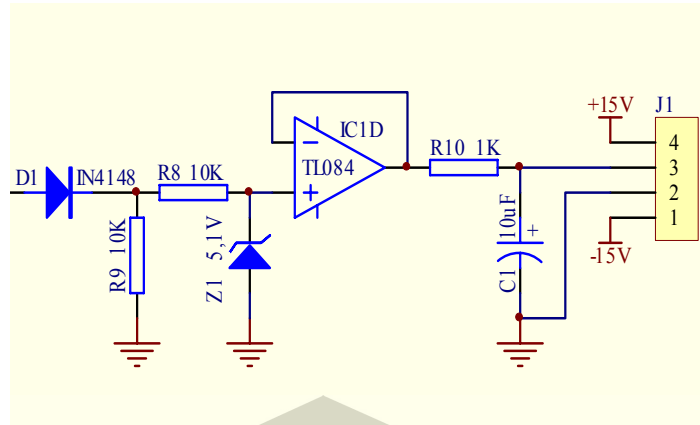
Adapun rangkaian pengkondisi sinyal sebagai berikut:



Gambar 3.4 Rangkaian Penguat Masukan Diferensial

Rangkaian penguat diferensial diatas memiliki dua tingkatan rangkaian yang masing-masing adalah tingkat masukan diferensial serta sebuah tingkat rangkaian pengurang. Tingkat rangkaian masukan diferensial akan memberikan efek impedansi yang tinggi bagi kedua terminal masukan penguat[6].

Tingkatan rangkaian masukan diferensial dibentuk oleh dua buah penguat non-pembalikan yang saling berketergantungan. Tingkatan rangkaian ini akan menghasilkan sebuah tegangan keluaran diferensial sebagai respons terhadap sinyal masukan diferensial. Dengan mengasumsikan bahwa op-amp – op-amp pada tingkat masukan tidak menarik arus pada terminal-terminal masukannya maka sebagai akibatnya arus yang sama haruslah mengalir melalui resistor R1, R2, R3, VR 100KΩ. VR berfungsi sebagai kendali gain.



Gambar 3.5 Rangkaian pengikut Tegangan

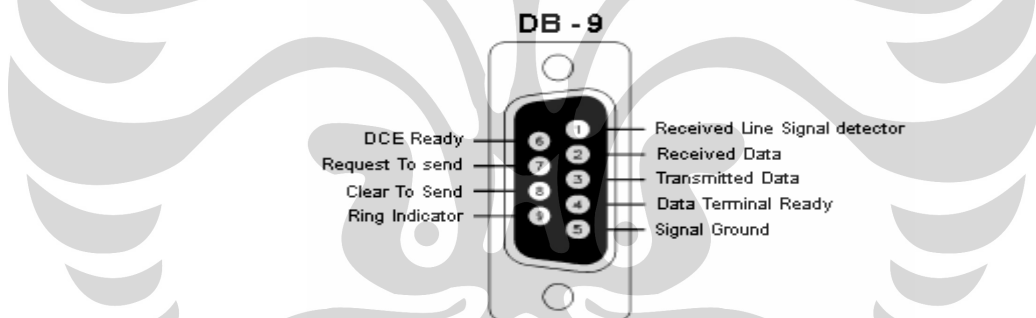
Pengikut tegangan didefinisikan sebagai rangkaian dengan penguatan satu atau kurang dengan keluaran mengikuti masukan. Di antara masukan dan keluaran terdapat isolasi impedansi. Keluaran penguat diferensial dihubungkan ke dioda IN4148 kemudian dihubungkan ke resistor (R_8 dan R_9) masing-masing $10\text{ K}\Omega$ dan dioda zener 5,1 volt yang gunanya untuk membatasi tegangan pengkondisi sinyal. Rangkaian buffer TL084 (IC1D) digunakan untuk menstabilkan tegangan, pada IC1D keluaran terhubung langsung pada masukan membalik dengan tegangan masukan dikenakan pada masukan tak membalik. Resistansi umpan balik sama dengan nol, karena itu sesuai penguatan tahapan untuk tak membalik, atau penguat pengikut sama dengan satu $\left(A = \frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right)$. Dengan perkataan lain, bila diberikan umpan balik 100% maka keluaran akan mengikuti masukannya[9].

komponen kapasitor ($10\mu\text{F}$) dan resistor ($1\text{K}\Omega$) merupakan suatu rangkaian low pass filter sederhana yang tujuannya untuk membuang noise yaitu meloloskan atau melewatkan frekuensi rendah. Selanjutnya tegangan dari rangkaian filter akan masuk ke ADC (Analog to Digital Converter) yang telah tersedia pada IC *microcontroller*.

3.1.3 Personal Computer (PC).

Perancangan sistem kontrol ini menggunakan PC sebagai Visualisasi dari pengamatan serta pengontrolan. Penggunaan PC dimaksudkan untuk mempermudah dalam melakukan pengamatan serta pengontrolan. PC tersebut akan melakukan komunikasi ke *microcontroller*. Sistem komunikasi penerimaan dan pengiriman datanya melalui *port serial* (COM).

Port serial (COM) pada komputer menggunakan slot DB-9 *male* yang terdapat di belakang komputer. Adapun konfigurasi slot DB-9 *male* adalah seperti gambar di bawah ini.




Gambar 3.6. Konfigurasi slot DB-9

Dibandingkan dengan menggunakan port parallel, penggunaan port serial terkesan lebih rumit. Beberapa keuntungan penggunaan port serial dibandingkan dengan port parallel adalah pada komunikasi serial masalah *cable loss* tidak akan menjadi masalah besar daripada menggunakan kabel parallel. Port serial mentransmisikan “1” pada level tegangan -3 Volt sampai -25 Volt dan “0” pada level tegangan +3 Volt sampai +25 Volt, sedangkan port parallel mentransmisikan “0” pada level tegangan 0 Volt dan “1” pada level tegangan 5

Volt. Jumlah kabel yang dibutuhkan pada komunikasi serial jauh lebih sedikit, bisa hanya menggunakan tiga kabel, yaitu saluran transmit data, saluran receive data dan saluran ground selain itu lebih compatible dengan *microcontroller*. Hal itu dikarenakan *microcontroller* telah dilengkapi dengan SCI (*Serial Communication Interface*) yang dapat digunakan untuk komunikasi dengan port serial computer. Gambar di bawah ini adalah susunan konfigurasi dari pin DB 9.berikut ini :

Tabel 3.1. Susunan Pin port serial (COM).

9 Pin Connector on a DTE device (PC connection)	
Male RS232 DB9	
Pin Number	Direction of signal:
1	Carrier Detect (CD) (from DCE) Incoming signal from a modem
2	Received Data (RD) Incoming Data from a DCE
3	Transmitted Data (TD) Outgoing Data to a DCE
4	Data Terminal Ready (DTR) Outgoing handshaking signal
5	Signal Ground Common reference voltage
6	Data Set Ready (DSR) Incoming handshaking signal
7	Request To Send (RTS) Outgoing flow control signal
8	Clear To Send (CTS) Incoming flow control signal
9	Ring Indicator (RI) (from DCE) Incoming signal from a modem

3.1.4 Motor DC

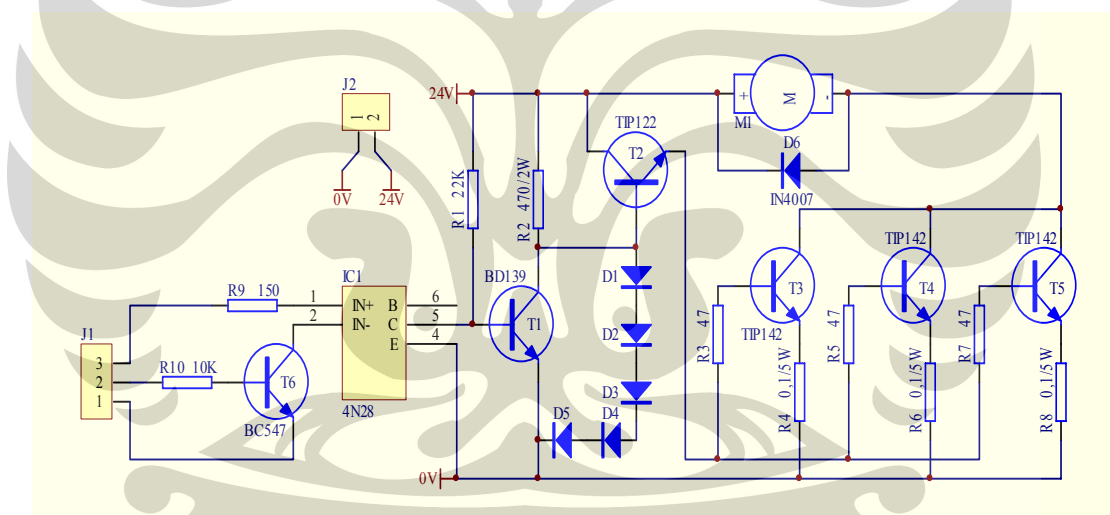


Gambar 3.7 konstruksi Motor DC

Motor yang digunakan dalam rancangan alat ini mempunyai kecepatan putar/*rpm* yang tinggi yaitu 4200 *rpm* dan menggunakan tegangan DC 24 Volt. Kecepatan putar yang tinggi digunakan agar benda / tuas yang memutar dapat terangkat dengan mudah. Bila kecepatan motor yang digunakan rendah, maka benda / tuas akan menghasilkan posisi sudut yang kecil.

3.1.5 Driver Motor

Untuk dapat menggerakkan motor DC diperlukan suatu rangkaian driver motor yang gunanya sebagai pengemudi motor dengan tegangan 24 Volt. Adapun rangkaian driver motor sebagai berikut :



Gambar 3.8 Rangkaian Driver Motor

Pada rangkaian driver motor menggunakan tegangan DC sebesar 24 Volt. Keluaran tegangan dari microcontroller pada pin J9 akan masuk ke rangkaian driver motor sebagai pemicu agar motor DC berputar. Kemudian tegangan masuk ke transistor BD 547 dan diteruskan ke IC1 4N28. Pada transistor BD 139 digunakan sebagai saklar dimana ketika pada kaki basis transistor BD 139

mendapat arus (I_B) maka antara kolektor dan emitor (I_E) terjadi hubung singkat.

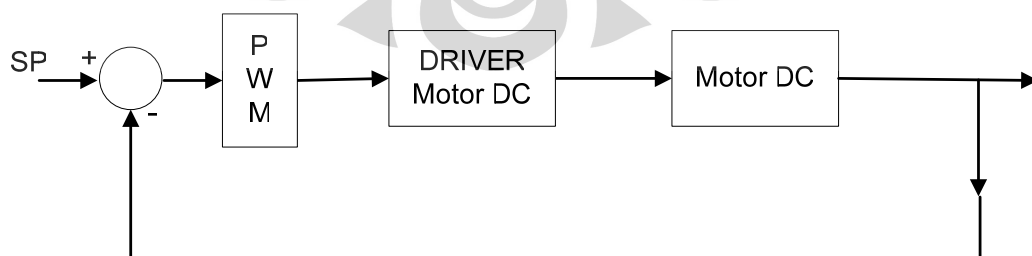
Untuk menentukan arus basis digunakan rumus :

$$I_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B}$$

Komponen transistor TIP 122 mendapat tegangan DC 24 Volt, dimana transistor TIP 122 ini berfungsi untuk mengendalikan 3 buah transistor TIP 142. Transistor TIP 142 merupakan rangkaian penguat yang dioperasikan sebagai rangkaian saklar.

3.1.6 Pengendali Motor

Sistem yang dibangun menggunakan sebuah motor DC untuk menggerakkan konstruksi mekanik agar dapat berfungsi sebagaimana yang diinginkan. Sebuah motor DC akan dikendalikan kecepatannya dengan memberikan tegangan yang berubah-ubah. Secara manual dapat dilakukan dengan mudah, yaitu dengan cara mengubah sumber tegangan yang masuk kepada motor DC, cara ini tentu tidaklah praktis. Adapun pada sistem ini dibuat suatu rangkaian pengendali yang dapat mengatur variasi kecepatan putar motor DC dan Cara kerja dari sistem ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.9 Blok Pengendali Motor

Setelah mendapatkan *set point* yang diinginkan, program akan membandingkan *error* dengan logika yang diberikan. MV pada blok diatas berarti power motor/tenaga motor. Misalnya, kita memberikan *set point* sebesar 50. Keadaan mula-mula motor adalah diam dan *power* motor mempunyai nilai nol. Karena nilai *set point* lebih besar dari nol, maka tenaga motor DC ditambah sebesar 1. kenaikan tersebut, mengakibatkan nilai *pwm* akan naik dan mengakibatkan *driver* motor akan mengeluarkan daya yang lebih besar dari sebelumnya.

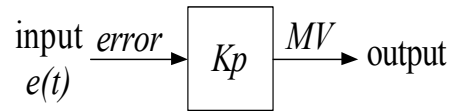
Pada saat motor berputar, sensor yang berada pada motor akan menghasilkan pulsa. Pulsa tersebut dihasilkan dari perputaran piringan *ferromagnetik* yang dikelilingi oleh lilitan serta magnet. Perputaran piringan tersebut mengakibatkan medan magnet *berfluktuasi* secara acak. Hasil acak medan magnet tersebut menghasilkan tegangan yang berubah-ubah.

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

1 Kontrol Proporsional (P)

Pada dasarnya, kontrol proporsional memiliki karakteristik dasar di dalam memperkuat sebuah sinyal masukan. Hal ini berkaitan dengan nilai variabel keluaran pada unit sistem pengendali yang berasal dari hasil perkalian antara sinyal masukan dengan suatu besaran atau konstanta dengan nilai yang telah

ditentukan. Berikut ini, merupakan gambar dari blok diagram unit pengendali proporsional, dimana besar output sebanding dengan input.



Gambar 3.10 Blok Diagram kontrol proporsional

Semakin besar nilai K_p akan menyebabkan semakin besarnya nilai penguatan (*Gain*) yang dihasilkan oleh sistem pengendali. Kenaikan nilai K_p berfungsi untuk mempercepat kinerja proses pengendalian kearah nilai *set point* dan mengurangi terjadinya nilai steady-state error. Pada unit pengendali dengan aksi kontrol *proportional*, hubungan antara nilai masukan pengendali $u(t)$ dan sinyal *error* $e(t)$ adalah

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

Hubungan K_p dengan *Propotional Band* adalah

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

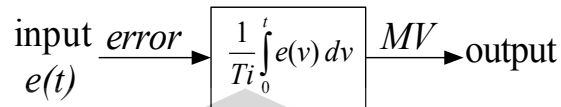
2. Kontrol Integral (I)

Fungsi aksi kontrol integral ialah untuk mengatasi kekurangan pengendali proporsional yang gagal menghilangkan offset, namun dibutuhkan *error* untuk dapat bekerja. Salah satu sifatnya yaitu kemampuan bereaksi yang lambat, tergantung pada besarnya T_i .

Pada aksi kontrol integral mekanisme pengoperasian dan pengaplikasiannya didalam teknik kontrol otomatis sering disebut dengan istilah *control reset*. Aksi kontrol integral memiliki peranan dan fungsi didalam mengintegrralkan suatu bentuk sinyal masukan untuk kemudian dibandingkan

dengan suatu konstanta atau besaran dengan nilai yang telah ditentukan. Sehingga sinyal keluaran yang dihasilkan sesuai dengan nilai yang dikehendaki.

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



Gambar 3.11 Blok Diagram Aksi Kontrol Integral

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

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

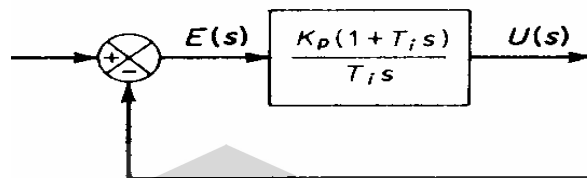
3 Kontrol Proporsional ditambah Integral (PI)

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

$$u(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt$$

Dengan menggunakan nilai variabel Kp sebagai sebuah konstanta proporsional dan Ti sebagai sebuah konstanta pewaktu integral di dalam penggunaan persamaan matematis tersebut, maka nilai dari kedua konstanta telah dapat ditentukan. Konstanta pewaktu integral berfungsi dalam mengatur besarnya laju aksi kontrol integral yang beroperasi pada sistem pengendalian, sedangkan perubahan nilai konstanta proporsional akan berakibat terhadap laju kerja dari aksi

kontrol proporsional maupun integral. Gambar 3.12 berikut ini, menunjukkan blok diagram unit pengendali dengan menggunakan aksi kontrol PI.



Gambar 3.12 Blok Diagram Aksi Kontrol PI

4. Kontrol Proporsional ditambah Diferensial (PD)

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

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

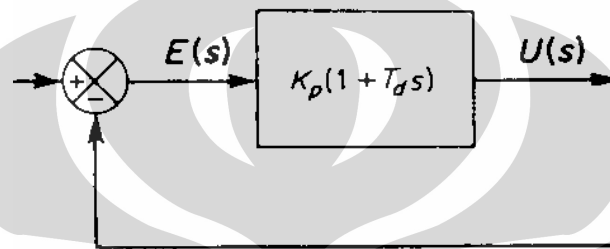
Persamaan matematis yang dihasilkan oleh suatu sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol ini, dituliskan dalam persamaan berikut.

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

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

Aksi kontrol diferensial (Derivatife) sering disebut dengan istilah laju kontrol dengan besaran keluaran unit pengendali proporsional kearah laju

perubahan dari sinyal *error*. Konstanta pewaktu diferensial (T_d) adalah waktu interval dengan laju aksi yang menggambarkan adanya suatu pengaruh pengendalian yang dihasilkan oleh aksi kontrol proporsional. Gambar 3.13 di bawah ini, menunjukkan blok diagram dari unit pengendali dengan aksi kontrol proporsional ditambah diferensial.



Gambar 3.13. Blok diagram kontrol PD

5. Kontrol Proporsional ditambah Integral Ditambah Diferensial

Aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol diferensial dapat dikombinasikan dan dihubungkan kedalam sebuah model unit sistem pengendali, yang sering disebut dengan istilah aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial (Unit Pengendali PID). Kombinasi ini memiliki lebih banyak keuntungan dibanding penerapan masing-masing unit pengendali secara terpisah[7].

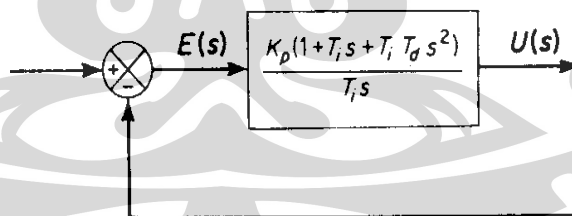
Persamaan matematis yang dihasilkan oleh ketiga kombinasi dari masing-masing unit pengendali dengan menggunakan aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial (Unit Pengendali PID), ditunjukkan dalam penggunaan suatu variabel dibawah ini.

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

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

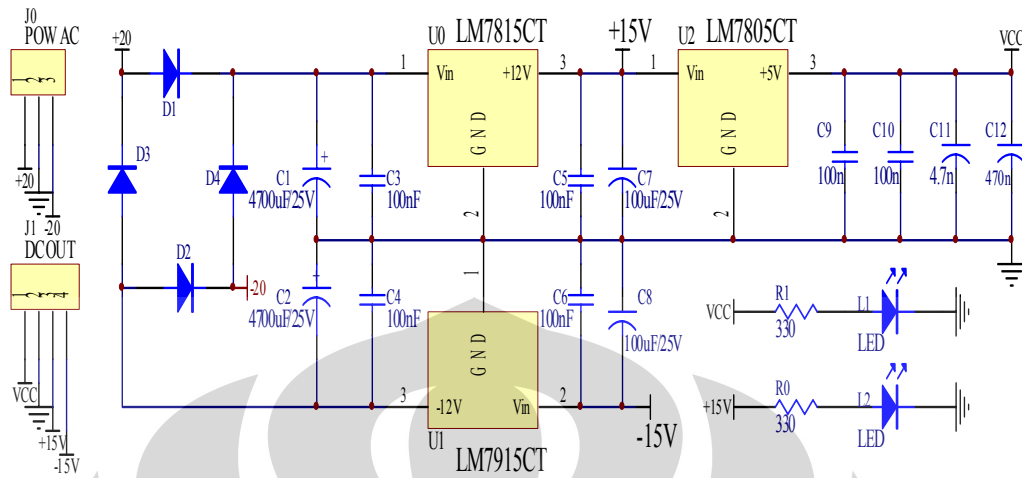
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Dengan menggunakan variabel nilai K_p sebagai konstanta proporsional, T_i sebagai konstanta pewaktu integral, dan T_d sebagai konstanta pewaktu diferensial, maka blok diagram dari penerapan unit sistem pengendali dengan menggunakan aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah diferensial, dapat ditunjukkan melalui gambar 3.14 di bawah ini.



Gambar 3.14. Blok Diagram Unit Pengendali PID

3.1.7 Power Supply



Gambar 3.15 Rangkaian regulator

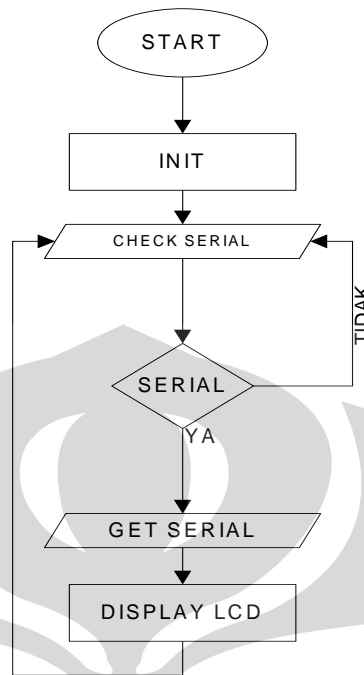
Rangkaian regulator yang berfungsi memberi supply tegangan ke seluruh sistem sesuai dengan keluaran dan kebutuhan dari masing-masing rangkaian. Tegangan AC 10A dan 3A dari trafo disearahkan oleh diode bridge sehingga menghasilkan tegangan DC. Setelah di searahkan maka tegangan di regulasi agar menghasilkan tegangan +15 V dengan dimasukkan ke IC LM7815. Penggunaan kapasitor elcho sebelum melewati IC regulator yakni untuk meminimalkam riak dari tegangan DC yang dihasilkan pada saat proses penyearahan oleh diode bridge, sehingga dihasilkan tegangan DC yang lebih stabil. Sedangkan output tegangan – 15 dihasilkan akibat pembalikan fasa gelombang pada saat terjadi penyearahan tegangan dan setelah melalui proses regulasi dari IC LM7915. Adapun output tegangan + 5 V dihasilkan dengan menggunakan IC LM7805 yang melalui proses regulasi.

Selanjutnya, data yang terdapat pada *microcontroller* berbentuk TTL yang hanya mengenal logika 1 untuk 3-5 V dan logika 0 untuk 0-0.8 V, sedangkan pada PC memiliki level tegangan RS-232 yang menganggap tegangan -3 s/d -25 V sebagai logika 1 dan tegangan 3 s/d 25 V sebagai logika low (0), agar dapat dikirimkan melalui kabel serial, maka data tersebut harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi RS-232. Pada MAX232 ini berfungsi mengubah level tegangan TTL ke CMOS agar dapat sama dengan tegangan di PC. Pada saat motor berputar, tuas yang terhubung dengan motor DC akan bergerak dan mengakibatkan tuas naik. Selain tuas yang bergerak, saat motor berputar tegangan potensiometer berubah sesuai dengan perubahan resistansi. Sinyal dari potensiometer akan masuk ke blok pengkondisi sinyal. Karena tegangan keluaran dari pengkondisi sinyal berupa analog maka tegangan tersebut diubah menjadi digital dengan rangkaian ADC yang terdapat pada *microcontroller*. Port yang digunakan pada *microcontroller* adalah port A0. Sedangkan untuk rangkaian driver motor dihubungkan ke *microcontroller* pada port D5 (OC1A).

3.2 Perangkat Lunak

Untuk rangkaian pengendali dan display terdapat pada panel kontrol. Dengan bantuan *software*, perancangan ini diharapkan akan sesuai dengan tujuan dari pembuatan alat tersebut. Perancangan tersebut dapat dilihat dari *flowchart* dari rancangan alat.

3.2.1 Alur LCD



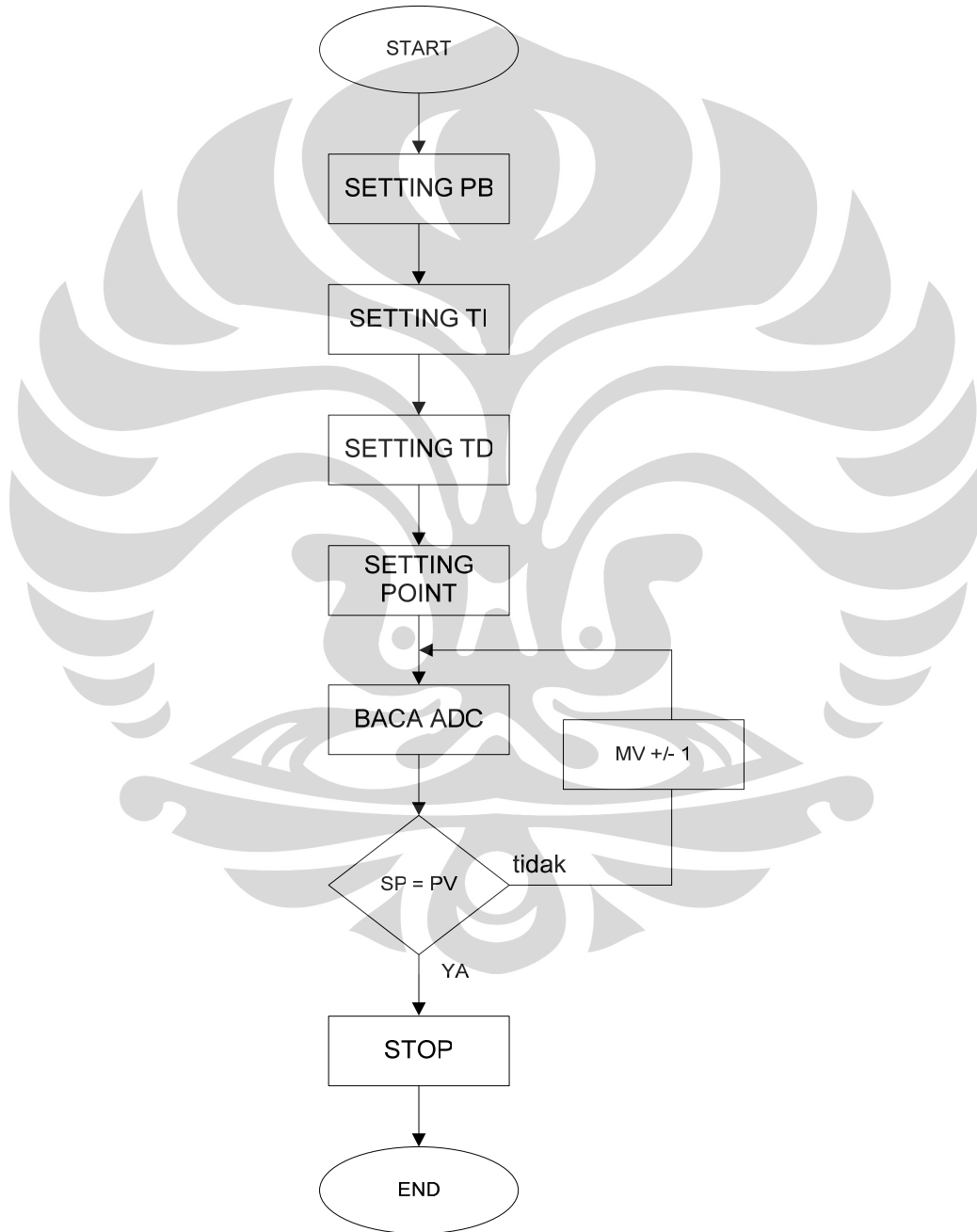
Gambar 3.17. Flowchart LCD

Gambar diatas adalah alur data pada LCD yang terdapat pada panel control. Setelah proses *inisialisasi* selesai, program akan memeriksa serial, apakah terdapat data atau tidak. Bila tidak, proses tidak akan berjalan sampai akhir sampai ada data yang masuk. Data yang diambil dari serial akan ditampilkan pada layar.

3.2.2 Pengendali Motor

Pada diagram alur dapat terlihat bahwa pada saat start, program akan memeriksa nilai dari mode pengoperasian kontrol PB, TI, TD. Kemudian dengan nilai setting point yang diberikan maka nilai pwm diset yang akan membuat motor berputar. Selama motor berputar, kecepatan motor akan mendekati setting pointnya dan membaca tegangan ADC. Nilai set point akan dibandingkan dengan

error. Jika process variabel belum mencapai angka set point maka pwm akan ditambah sampai mendekati set point. Kemudian bila process variabel melebihi angka dari set point maka pwm akan dikurang sampai mendekati set point. Proses ini dapat dihentikan sewaktu-waktu dengan menekan *STOP : # sehigga motor DC berhenti.



Gambar 3.18. Flowchart pengendali

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pembahasan pada bab 4 ini adalah mengenai pengujian sistem dan analisa data penelitian serta proses dan cara pengambilan data penelitian yang telah dilakukan penulis. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat ini sudah dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan.

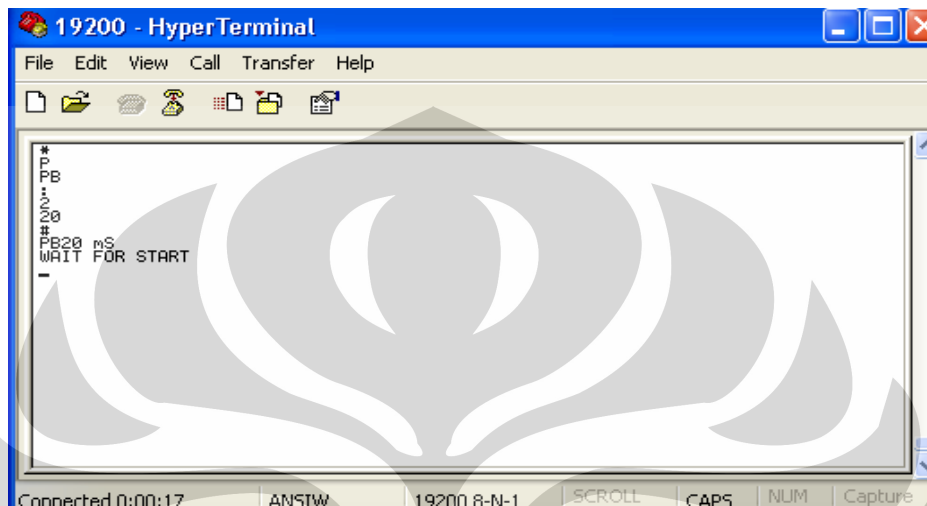
4.1 Pengujian Eksperimen

Pengujian eksperimen yang dilakukan adalah dengan menggabungkan semua komponen yang ada yaitu konstruksi perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam pengujian eksperimen ini, berat dari sebuah bandul yang terikat pada ujung batang tuas adalah sebesar 40 gram, dimana panjang dari batang tuas 10 cm. Pengambilan data dilakukan setiap kenaikan 5° dengan penempatan awal 10° . Motor DC yang digunakan memiliki putaran hingga 4200 rpm, data maksimum yang dapat diambil hanya mencapai 90° . Pengujian ini menggunakan komunikasi serial dan pengiriman yang dilakukan PC yaitu melalui *hyperterminal*. Pengujian ini dilakukan dengan cara :

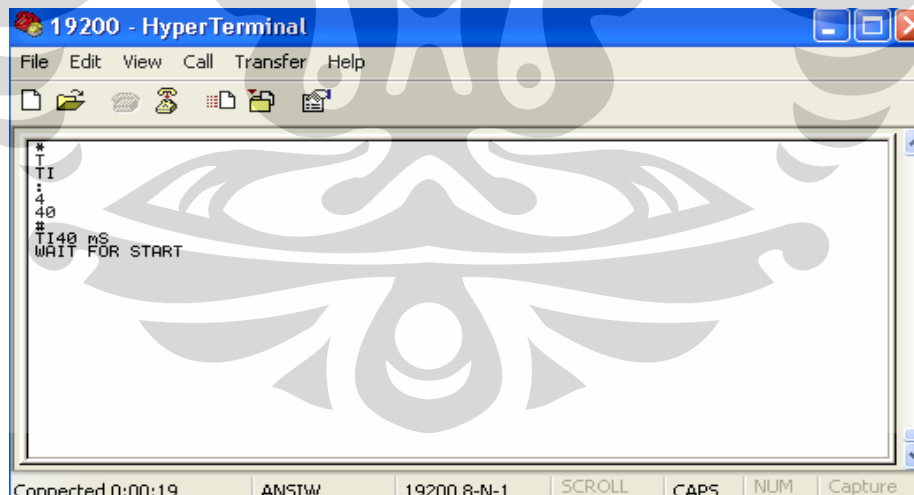
1. Mengetik mode pengoperasian pengendalian yaitu **PB, *TI dan *TD* pada PC.
2. Jenis pengendalian yang dipilih adalah “PB, TI, dan TD”, kemudian kita masukkan *nilai* yang diinginkan dari masing-masing pengoperasian pengendali pada PC. Proses akan berjalan hingga mencapai setting point yang telah di-*set* terlebih dahulu.

3. Untuk memilih sudut yang diinginkan yaitu dengan cara mengetik “* START : nilai_sudut atau nilai_setting point #” pada PC, maka proses berjalan. Proses akan dihentikan dengan mengetik “* STOP : #”.

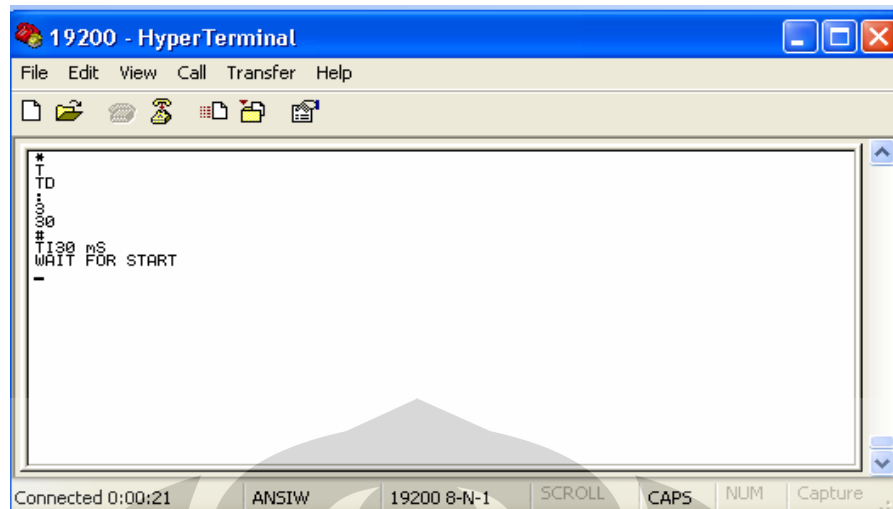
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



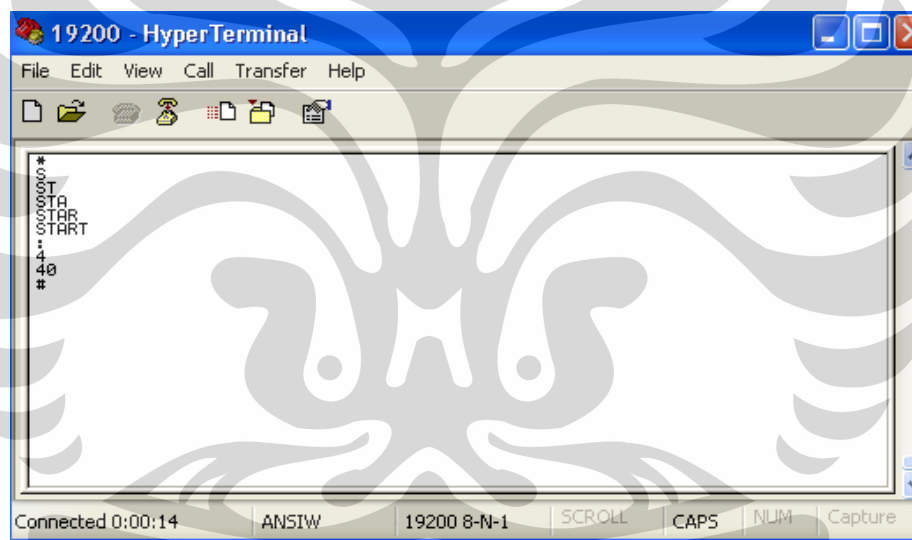
Gambar 4.1. Protokol pengendalian PB



Gambar 4.2. Protokol pengendalian TI



Gambar 4.3. Protokol pengendalian TD



Gambar 4.4. Protokol menentukan setting point

*PB : xx # *TI : xx # * TD : xx# *START : xx#

Keterangan :

- PB, TI dan TD : menyatakan jenis pengendalian
- START : menyatakan proses awal berjalan dengan nilai setting point

- xx : menyatakan nilai dari masing-masing jenis pengendalian dan setting point.

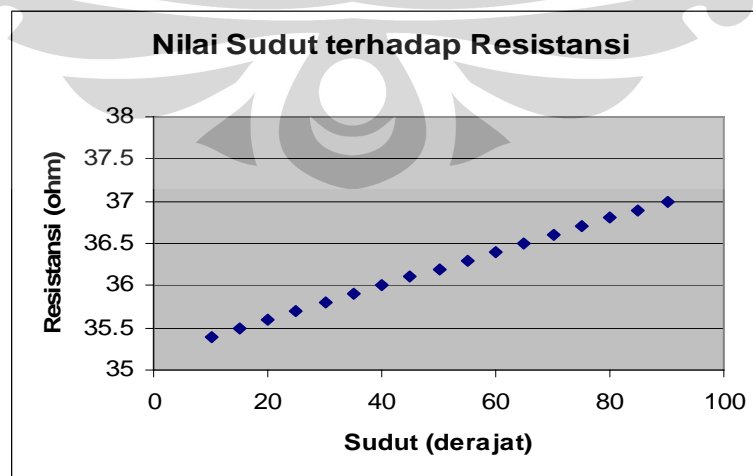
Sedangkan pada LCD yang terdapat pada panel kontrol terlihat sebagai berikut :

	P	I	D		C	O	N	T	R	O	L	L	E	R	
S	P	=	4	0	%			P	V	=	4	0	%		

Gambar 4.5. Tampilan LCD

4.2 Pengujian karakteristik sensor potensiometer

Pengujian sensor potensiometer ini sangat mudah dilakukan karena tidak memerlukan banyak komponen ataupun sumber listrik. Tetapi pengujian sensor ini dilakukan dengan menghubungkan dua kaki (kaki tengah dan ujung) potensiometer ke ohm meter dan pada batang tuas digerakkan per 5° dengan awal data 10° hingga 90° . Dari pengujian maka diperoleh hasil data pengujian yang terdapat pada lampiran 1 dan diperoleh hubungan antara hambatan dan sudut ($^\circ$) yang ditunjukkan seperti pada gambar 4.6

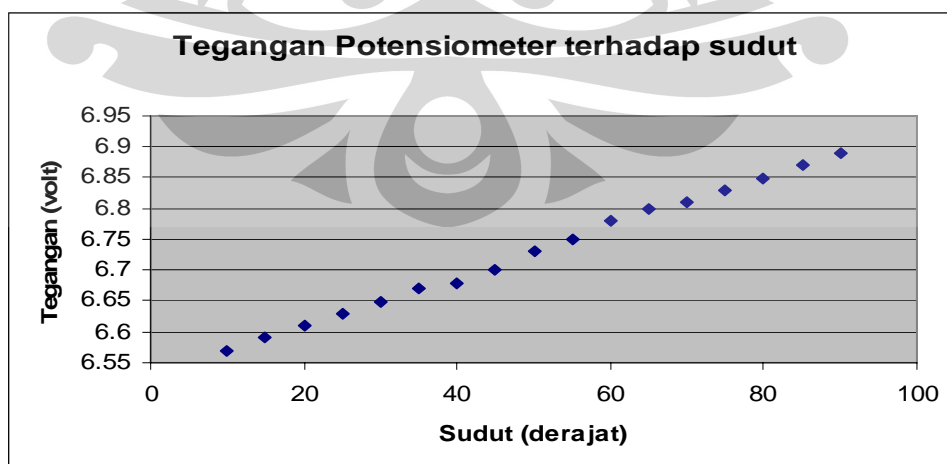


Gambar 4.6 Grafik hubungan sudut terhadap resistansi

Dari data diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai resistansi yang diperoleh maka sudut yang dihasilkannyapun akan semakin besar. Pengambilan data ini dilakukan secara manual tanpa menggunakan putaran motor artinya tanpa menggunakan tegangan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sudut pada tuas terhadap resistansi.

4.3 Kalibrasi sensor potensiometer

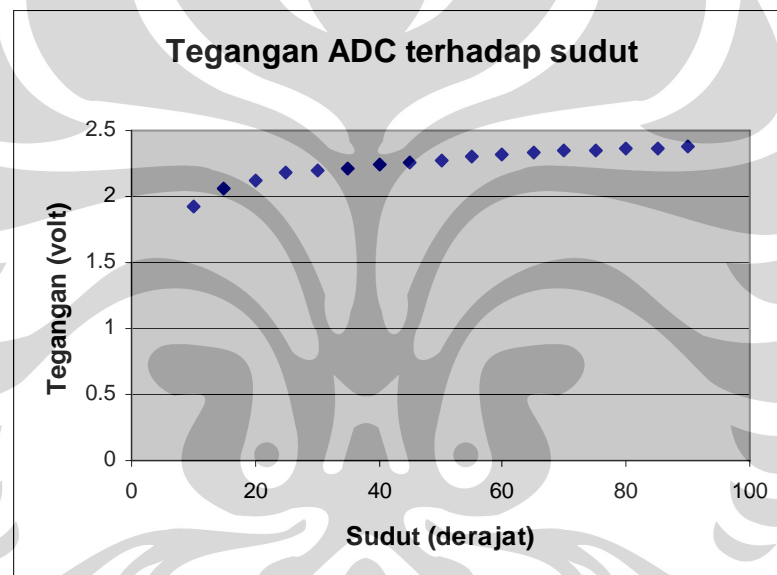
Pengkalibrasian sensor bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran dengan baik dan kemudian akan digunakan untuk eksperimen sehingga akan menghasilkan instrumen dengan pengukuran yang benar. Cara pengkalibrasian sensor potensiometer yaitu dengan memberikan tegangan sebesar 15 volt kemudian pada batang tuas digerakkan hingga mencapai kenaikan sudut 90°. Kenaikkan sudut tersebut per 5° dimulai dari 10°. Keluaran tegangan sensor potensiometer dihubungkan ke pengkondisi sinyal dan dibandingkan dengan tegangan referensi yaitu pada VR1 yang terdapat di rangkaian pengkondisi sinyal. Dari hasil pengujian didapat data pengujian yang terdapat pada lampiran 2



Gambar 4.7 Grafik hubungan sudut terhadap tegangan keluaran dari potensiometer.

Dari data sensor terlihat bahwa kenaikan nilai tegangan berkisar antara 0,01 volt hingga 0,03 volt. Hal ini dipengaruhi oleh nilai resistansi pada potensiometer dan tegangan dari PLN yang terkadang kurang stabil. Nilai tegangan ini nantinya akan dikirim ke ADC melalui rangkaian pengkondisi sinyal.

Karena tegangan yang didapat dari keluaran potensiometer sekitar 6 volt maka pada VR1 akan mengatur nilai tegangan anantara 0 volt hingga 5 volt agar terbaca oleh ADC. Berikut ini adalah hubungan antara tegangan ADC dan sudut ($^{\circ}$) yang ditunjukkan seperti pada gambar 4.8



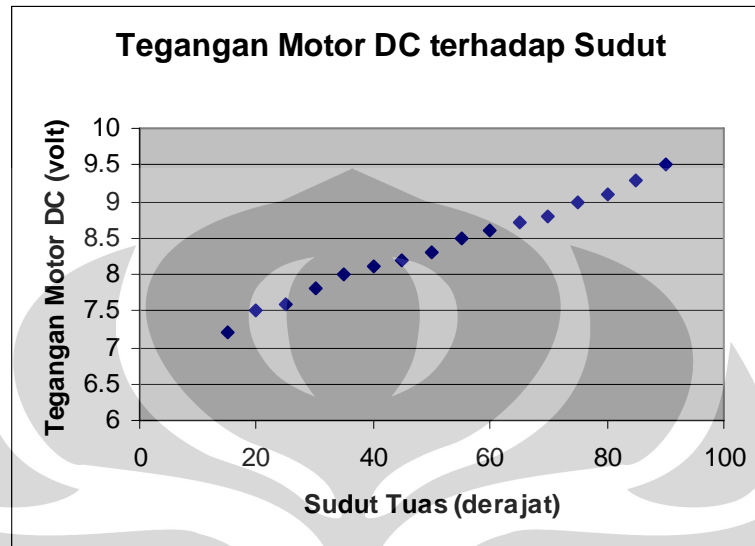
Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut terhadap tegangan ADC

Untuk setiap kenaikan tegangan berkisar antara 0,005 volt sampai dengan 0,1 volt. Setiap kenaikan tegangan dipengaruhi oleh nilai resistansi pada potensiometer. Tegangan yang diterima oleh ADC tidak melebihi 5 Volt.

4.4 Pengujian Motor DC

Bagian pengujian ini antara lain, dengan memberikan nilai sudut derajat tertentu dan akan dihitung tegangan yang ada pada motor DC. Pengujian ini

bertujuan untuk mengetahui tegangan yang ada pada motor DC ketika dimasukkan nilai sudut dari 10° sampai 90° . Adapun hasil pengujian tersebut adalah :



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara tegangan motor DC terhadap sudut

Dari gambar diatas, dapat terlihat semakin besar nilai sudut yang dimasukkan, maka semakin besar pula tegangan yang berada pada motor DC.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh penulis setelah melakukan penelitian tugas akhir serta saran-saran untuk perbaikan sistem dan hasil yang lebih baik lagi dimasa yang akan datang.

5.1 KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan perancangan sistem serta melakukan pengujian terhadap sistem tersebut, maka penulis dapat menarik suatu kesimpulan bahwa:

1. Konstruksi mekanik yang telah dibuat kurang berjalan dengan baik sehingga hanya mampu melakukan pengendalian sudut tuas sampai 90° .
2. Pada berat bandul sangat mempengaruhi kenaikan sudut.
3. Semakin cepat putaran pada motor DC, kenaikan sudut pada tuas semakin besar.
4. Percepatan sentripetal mempunyai fungsi untuk mengubah arah kecepatan benda sehingga tetap mengikuti lintasan berupa lingkaran.
5. Microcontroller digunakan untuk menghubungkan PC dengan sensor (potensiometer).
6. Nilai *sudut* yang bervariasi, menyebabkan tegangan yang masuk ke motor bervariasi juga, hal ini menyebabkan putaran motor pun bervariasi

5.2 SARAN

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada sistem yang telah dibuat. Oleh karena itu penulis menyarankan yang kiranya dapat lebih menyempurnakan sistem yang telah dibuat tersebut, yaitu :

Dalam pembuatan dan desain sistem mekanikanya dibuat lebih baik lagi sehingga kerja sistem lebih akurat.





Lampiran 1. Resisitansi terhadap sudut

Data Sudut (derajat)	Resistansi (ohm)
10	35.4
15	35.5
20	35.6
25	35.7
30	35.8
35	35.9
40	36
45	36.1
50	36.2
55	36.3
60	36.4
65	36.5
70	36.6
75	36.7
80	36.8
85	36.9
90	37

Lampiran 2. Tegangan potensiometer terhadap sudut

Data Sudut (derajat)	Tegangan potensiometer (Volt)
10	6.57
15	6.59
20	6.61
25	6.63
30	6.65
35	6.67
40	6.68
45	6.7
50	6.73
55	6.75
60	6.78
65	6.8
70	6.81
75	6.83
80	6.85
85	6.87
90	6.89

Lampiran 3. Tegangan ADC terhadap sudut

Data Sudut (derajat)	Tegangan ADC (Volt)
10	1.92
15	2.06
20	2.12
25	2.18
30	2.19
35	2.21
40	2.24
45	2.26
50	2.28
55	2.3
60	2.32
65	2.33
70	2.35
75	2.355
80	2.36
85	2.37
90	2.38

Lampiran 4. Tegangan motor DC terhadap sudut

Data Sudut (derajat)	Tegangan Motor DC (Volt)
15	7.2
20	7.5
25	7.6
30	7.8
35	8
40	8.1
45	8.2
50	8.3
55	8.5
60	8.6
65	8.7
70	8.8
75	9
80	9.1
85	9.3
90	9.5

```

$regfile = "M8535.DAT"
'$large
$crystal = 8000000
$baud = 19200

Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Pb.4 , Db5 = Pb.5 , Db6 = Pb.6 , Db7 = Pb.7 , E = Pb.2 , Rs = Pb.0
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Down , Compare B Pwm = Clear
Down , Prescale = 64
Config Timer0 = Counter , Edge = Falling
Config Timer2 = Timer , Prescale = 8
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc

On Ovf2 Time_sampling_isr
On Urx Serial_in_isr

Enable Interrupts
Enable Urx
Enable Ovf2

Dim Control_flag As Bit
Dim Start_flag As Bit
Dim Balik As Bit
Dim Ulang As Bit
Dim Lompat As Bit
Dim Data_seri As Byte
Dim Set_point As Word
Dim Pb As Word
Dim Ti As Word
Dim Td As Word
Dim Pv As String * 4
Dim Mv As Integer
Dim Mvp As Single
Dim Mvi As Single
Dim Mvd As Single
Dim Error As Single
Dim Error_lama As Single
Dim Sigma_error As Single
Dim Delta_error As Single
Dim Sigma_error_max As Single
Dim Periode As Integer
Dim Rpm As Word
Dim Adc_value As Word
Dim Sudut As Single
Dim Sudut1 As Word
Dim Kata1 As String * 6
Dim Kata2 As String * 6

$eprom
Pid:
Data 50 , 100 , 1 , 0

$data

Program_utama:

```



```

Pwm1a = 0
Pwm1b = 0
Start Timer2
Start Timer1
Start Timer0
Start Adc
Balik = 1
Cursor Off
Cls
Upperline
Lcd " PID CONTROLLER "
Lowerline
Lcd "V:1.1 FISIKA UI"

Do
'Print "Control Ready"
Loop Until Balik = 0
Goto Program_kendali

Program_kendali:
Lompat = 1
Error_lama = 0
Readeeprom Set_point , Pid
Readeeprom Pb
Readeeprom Ti
Readeeprom Td
Sudut = 0
Sigma_error_max = Ti / Pb
Sigma_error_max = Sigma_error_max * 1023
Locate 2 , 1
Lcd "      "
Locate 2 , 1
Lcd "SP=" ; Set_point ; "%"
Locate 2 , 9
Lcd "PV=" ; Sudut
Locate 2 , 16
Lcd "%"
Do
  If Kata1 = "START" Then
    If Controlled_flag = 1 Then
      Controlled_flag = 0
      Adc_value = Getadc(0)
      Sudut = Adc_value / 10.23
      Sudut1 = Sudut
      'Sudut = Sudut - 74
      'Sudut = Sudut * 10
      'Sudut = Sudut * 17

      Upperline
      Lcd " PID CONTROLLER "
      Locate 2 , 12
      Lcd "      "
      Locate 2 , 12
      Lcd Sudut1
      'Set_point = Set_point * 10
      Error = Set_point - Adc_value

```

```

Delta_error = Error - Error_lama
Sigma_error = Sigma_error + Error
If Sigma_error > Sigma_error_max Then Sigma_error = Sigma_error_max
If Sigma_error < 0 Then Sigma_error = 0
Mvp = Pb / 100
Mvp = Mvp * Error
Mvi = Pb / Ti
Mvi = Mvi * Sigma_error
Mvd = Ti / 100
Mvd = Mvd * Pb
Mvd = Mvd / 100
Mv = Mvp + Mvi
Mv = Mv + Mvd
If Error < 0 Then Mv = Mv + 1
If Error > 0 Then Mv = Mv - 1
If Error = 0 Then Mv = Mv
If Mv > 1023 Then Mv = 1023
If Mv < 0 Then Mv = 0
Pwm1a = Mv
Pwm1b = Mv
Print Sudut
End If
End If
If Kata1 = "STOP" Then
  Lompat = 0
  Pwm1a = 0
  Pwm1b = 0
End If
Loop Until Lompat = 0
Goto Program_utama

Time_sampling_isr:
Periode = Periode + 1
If Periode = 540 Then
  Periode = 0
  Controled_flag = 1
End If
Return

Serial_in_isr:
Disable Interrupts
Data_seri = Inkey()
If Data_seri = 42 Then
  Cls
  Print "*"
  Kata1 = ""
  Ulang = 1
  Pwm1a = 0
  Pwm1b = 0
Do
  Data_seri = Waitkey()
  If Data_seri = 58 Then
    Ulang = 0
  Else
    Kata1 = Kata1 + Chr(data_seri)
  End If
Print Kata1

```

```

End If
Loop Until Ulang = 0
Print ":"
    Ulang = 1
    Kata2 = ""
Do
    Data_seri = Waitkey()
    If Data_seri = 35 Then
        Ulang = 0
    Else
        Kata2 = Kata2 + Chr(data_seri)
    End If
    Print Kata2
End If
Loop Until Ulang = 0
Print "#"
Cls
If Kata1 = "START" Then
    Start_flag = 1
    Balik = 0
    Set_point = Val(kata2)
    Locate 2 , 1
    Lcd "      "
    Locate 2 , 1
    Lcd "SET POINT = " ; Set_point ; "% "
    Writeeprom Set_point , Pid
    Wait 1

    Cls
End If
If Kata1 = "STOP" Then
    Start_flag = 0
    Locate 2 , 1
    Lcd "      "
    Locate 2 , 1
    Lcd " STOP PROGRAM "
    Wait 1
End If
If Kata1 = "PB" Then
    Pb = Val(kata2)
    Locate 2 , 1
    Lcd "      "
    Locate 2 , 1
    Lcd "PB = " ; Pb ; " mS"
    Wait 1
    Writeeprom Set_point , Pid
    Writeeprom Pb
    Wait 1
    Print "PB" ; Pb ; " mS"
    Print "WAIT FOR START"
End If
If Kata1 = "TI" Then
    Ti = Val(kata2)
    Locate 2 , 1
    Lcd "      "
    Locate 2 , 1
    Lcd "TI = " ; Ti ; " mS"

```

```

Wait 1
Writeeprom Set_point , Pid
Writeeprom Pb
Writeeprom Ti
Wait 1
Print "TI" ; Ti ; " mS"
Print "WAIT FOR START"
End If
If Kata1 = "TD" Then
  Td = Val(kata2)
  Locate 2 , 1
  Lcd "      "
  Locate 2 , 1
  Lcd "TD = " ; Td ; " mS"
  Wait 1
  Writeeprom Set_point , Pid
  Writeeprom Pb
  Writeeprom Ti
  Writeeprom Td
  Wait 1
  Print "TI" ; Td ; " mS"
  Print "WAIT FOR START"
End If
Locate 2 , 1
Lcd "V:1.1 FISIKA UI"
Enable Interrupts
End If
Return

```

